

Université de Montréal

**Impact de l'épilepsie partielle sur l'acquisition des processus de lecture
chez l'enfant d'âge scolaire**

Par

Catherine-Marie Vanasse

Département de psychologie

Faculté des arts et des sciences

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures

En vue de l'obtention du grade de

Philosophae Doctor (Ph.D.)

En psychologie

Option neuropsychologie expérimentale

Février 2005

© Vanasse, 2005



BF

22

U54

2005

V. 029



AVIS

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

NOTICE

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Cette thèse intitulée:
**Impact de l'épilepsie partielle sur l'acquisition des processus de lecture chez
l'enfant d'âge scolaire.**

Présentée par
Catherine-Marie Vanasse

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes:



RÉSUMÉ EN FRANÇAIS

Les enfants avec épilepsie éprouvent fréquemment des difficultés significatives en lecture comparativement à leurs pairs sains. Toutefois, peu d'études systématiques visant à déterminer si ces difficultés pouvaient être reliées à l'occurrence de l'épilepsie *per se* ont à ce jour été menées. Comme les études neuro-radiologiques ont démontré une activation des aires cérébrales frontales et temporales lors du traitement phonologique de la lecture (Pugh *et al.*, 1996), il est légitime de postuler que l'épilepsie d'origine temporale ou frontale, puisse engendrer des déficits dans le traitement phonologique en lecture. En accord avec cette hypothèse, les enfants souffrant d'épilepsie partielle frontale ou temporale devraient présenter davantage de difficultés en lecture que ceux avec absences.

Puisque peu d'études ont été mené auprès d'enfants francophones, le développement normal des habiletés méaphonologiques et de lecture a d'abord été étudié chez 89 enfants francophones se développant normalement et ne présentant aucun trouble neurologique. Les résultats aux épreuves métaphonologiques révélaient clairement une progression développementale entre la maternelle et la 2^e année. Les mots d'orthographe régulière étaient facilement lus dès la 2^e année et les non-mots étaient décodés adéquatement en 3^e année, alors que la lecture de mots d'orthographe irrégulière s'améliorait jusqu'en 6^e année et même au-delà. De tels résultats suggèrent que l'effet facilitateur de la conscience phonologique sur la lecture est limité l'unité phonémique.

Le développement de la conscience phonologique et des habiletés de lecture a par la suite été étudié chez trois groupes d'enfants avec épilepsie, âgés entre 7 et 12 ans, affectés par une épilepsie temporale (TLE, n=10), frontale (FLE, n=10) ou présentant une épilepsie généralisée de type petit mal / absences (ABS, n=10). Les résultats révèlent la présence d'un retard significatif en lecture de plus de 2 ans par rapport à l'âge chronologique chez tous les enfants souffrant d'épilepsie, quel qu'en soit le type. Toutefois, contrairement à notre hypothèse, les enfants souffrant

d'épilepsie d'origine temporale ne présentent pas de déficits métaphonologiques. En revanche, les enfants souffrant d'épilepsie d'origine frontale présentent des faiblesses importantes dans la manipulation des unités sonores du langage (syllabes et phonèmes). Les enfants avec absences offrent eux aussi de moins bonnes performances à certaines tâches. Dans l'ensemble, ces résultats suggèrent que l'épilepsie frontale et dans un degré moindre, l'épilepsie généralisée entrave le traitement phonologique impliqué en lecture alors que l'épilepsie temporale semble interférer avec d'autres aspects du système de lecture.

Chez les enfants souffrant d'épilepsie frontale, les difficultés phonologiques s'accompagnent aussi d'une limite significative de la mémoire de travail auditivo-verbale. Ces résultats suggèrent que les déficits en lecture ne résultent pas uniquement d'une atteinte du traitement phonologique mais également à une atteinte des fonctions exécutives. À la lumière de ces données, il apparaît légitime de se demander si les enfants sans trouble neurologique identifié et qui présentent une dyslexie développementale n'éprouvent pas, eux aussi, des difficultés de nature exécutive. Selon cette hypothèse, la sévérité de la dyslexie pourrait être proportionnelle à la sévérité de l'atteinte fonctionnelle des aires frontales. Il serait donc important d'intégrer des épreuves évaluant le fonctionnement exécutif à l'évaluation neuropsychologique de base dans la dyslexie développementale.

Mots-clés : épilepsie, enfant, acquisition de la lecture; traitement phonologique, métaphonologie.

RÉSUMÉ EN ANGLAIS

Children with epilepsy frequently exhibit significant reading difficulties as compared to their peers. However, no systematic studies have yet been conducted to investigate whether these difficulties are related to the occurrence of the epilepsy *per se*. As functional neuroimaging studies reveal significant temporal and frontal lobes activation during the phonological treatment of reading (Pugh *et al.*, 1996), it was legitimate to postulate that focal epileptic activity affecting either of these cerebral regions could hamper the development of the phonological treatment involved in reading. According to this assumption, children affected by frontal or temporal partial complex epilepsy were more likely to present reading difficulties than children with generalized epilepsy.

Since very few studies have been conducted in the French speaking population, normal development of metaphonological and reading abilities was first studied in 89 neurologically-intact French-speaking children. Results in metaphonological tasks showed a clear developmental progression between kindergarten and 2nd grade. Regular words were easily read in grade 2, nonwords were adequately decoded in grade 3, whereas irregular word reading gradually increased until grade 6 and beyond. These results suggest that the facilitatory effect of phonological awareness on reading appears to be limited to the phoneme unit.

Development of phonological awareness and reading abilities was then investigated in three groups of epileptic children, aged 7 to 12 years, affected by temporal lobe epilepsy (TLE, n=10), frontal lobe epilepsy (FLE, n=10) or generalized absence seizures (ABS, n=10). Results showed that reading abilities of all epileptic children were almost 2 years behind expectations, regardless of the type of epilepsy. Contrary to our hypothesis, children with TLE did not differ from their controls on any of the metaphonological tasks administered. In contrast, children with FLE exhibited a significant phonological treatment deficit. Children with ABS

also underachieved on certain tasks. Taken together, these results indicate that frontal lobe and to a lesser extent, generalized epilepsy hinder the phonological treatment implicated in reading while temporal lobe epilepsy seems rather to interfere with other aspects of the reading process.

In children with frontal epilepsy, phonological reading deficits is also associated with a significant limit of working memory, which suggests that their reading problems are not due only to deficits in phonological treatment. These results could also suggest that executive function deficits play an important role in developmental dyslexia in children without epilepsy. In dyslexic children, the severity of dyslexia could be proportional to - or at least, influenced by - the severity of the deficit in frontal lobe executive functions. If it is the case, it is then of prime importance to investigate executive functions in children with dyslexia.

Keywords : epilepsy, children, reading acquisition, metaphonology, phonological treatment.

TABLE DES MATIÈRES

Identification du jury	II
Résumé en français	III
Résumé en anglais	V
Table des matières	VII
Liste des tableaux	IX
Liste des figures	XI
Liste des abréviations	XII
Dédicace	XI
Remerciements	XII

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION **1**

L'épilepsie chez l'enfant	3
Épilepsie et apprentissage	4
Retards de lecture chez l'enfant épileptique	5
Acquisition de la lecture	8
Métaphonologie	10
Substrats neuroanatomiques et traitement phonologique	14
Études anatomocliniques et morphologiques	14
Anatomie cérébrale fonctionnelle	16
Objectifs expérimentaux	21
Première étude	22
Seconde étude	23
Troisième étude	24

CHAPITRE 2 : SECTION EXPÉRIMENTALE **26**

Expérience 1: Development of reading and metaphonological abilities : A study of French-speaking children, aged 5 to 12 years.	27
Expérience 2: Impact of temporal lobe epilepsy on phonological processing and reading: A case study of identical twins.	50
Expérience 3: Impact of epilepsy on reading acquisition in children	77

CHAPITRE 3 : DISCUSSION GÉNÉRALE **116**

Métaphonologie & lecture : développement normal	119
Rappel méthodologique	120
Principaux résultats obtenus	121
Développement de la compétence métaphonologique	121
Développement du système de lecture	125
Métaphonologie et lecture : une relation réciproque	127
Impact de l'épilepsie	128
Principaux résultats obtenus	129
Une étude portant sur des jumelles identiques	129
Différentes formes d'épilepsie : une étude de groupe	131
Développement métaphonologique	132
Développement du système de lecture	133
Discussion générale	135
Perspectives de recherche futures	145
Conclusion	148

RÉFÉRENCES **152**

APPENDICES **162**

LISTE DES TABLEAUX

EXPÉRIENCE 1:	<i>Development of reading and metaphonological abilities: A transversal study of French-speaking children, aged 5 to 12 years.</i>	27
Table I.	Description of child sample.	33
Table II.	Percentage (%) of correct responses obtained on the metaphonological tasks.	37
EXPÉRIENCE 2 :	<i>Impact of temporal lobe epilepsy on phonological processing and reading: A case study of identical twins.</i>	50
Table I.	Metaphonological awareness tasks.	62
Table II.	WISC-III scaled subtest scores.	63
Table III.	Percentage (%) of correct responses on the reading tasks.	65
Table IV.	Percentage (%) of correct responses obtained on the phonological sensitivity and metaphonological tasks.	66
EXPÉRIENCE 3 :	<i>Impact of epilepsy on reading acquisition in children</i>	77
Table I.	Demographic and clinical seizure characteristics.	84
Table II.	Number of children receiving specific AEDs in mono- or in polytherapy.	85
Table III.	Results obtained by epileptic children and their controls on the preliminary tasks.	93
Table IV.	Mean percentage (%) of correct responses on isolated word reading tasks for each epileptic subgroup and their controls.	95

Table V.	Percentage (%) of children being more than 1 year behind school grade levels on regular and irregular word reading tasks as estimated using validated norms.	96
Table VI.	Mean reading age deficit (months) for each epileptic group on the Alouette reading test.	97
Table VII.	Percentage (%) of correct responses obtained on metaphonological tasks by epileptic and control children.	98
Table VIII.	Mean performances, Pr and Br indices obtained by epileptic and control children on the rhyme judgment task.	100

LISTE DES FIGURES

EXPÉRIENCE 1: <i>Development of reading and metaphonological abilities: A transversal study of French-speaking children, aged 5 to 12 years.</i>	27
Figure 1. Mean performances (%) for each group, on regular words, nonwords and irregular words.	40
EXPÉRIENCE 3 : <i>Impact of epilepsy on reading acquisition in children</i>	77
Figure 1. Mean performances (%) on regular words, L2-L3 nonwords and irregular words reading tasks for epileptic and control children.	94

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Épilepsie généralisée de type petit mal – absence	ABS
Épilepsie focale d'origine frontale	FLE
Épilepsie focale d'origine temporale	TLE
Imagerie par résonance magnétique	IRM
Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle	IRMf
Magnéto-électroencéphalographie	MEG
Médicament anti-épileptique	MAE
Potentiels évoqués liés à l'événement	ERP
Quotient intellectuel	IQ
Système nerveux central	SNC
Tomographie par émission de positron	TEP

DÉDICACE

À la mémoire du Dr Guy Geoffroy, M.D.

& d'André Courcy, M.O.A., Ph.D

REMERCIEMENTS

Je tiens en premier lieu à remercier profondément mes directrices de thèse, Maryse Lassonde et Renée Béland pour l'encadrement qu'elles m'ont offert tout au long de mes études doctorales, pour leur indéfectible soutien et pour leurs précieux conseils. Je souhaite aussi remercier vivement Gilbert Desmarais, qui m'a fait découvrir la neuropsychologie et ses mystères et qui m'a soutenue dans cette aventure académique. Merci également à Lydia Bégin-Bertrand pour un travail formidable sur le terrain et à Francine Giroux qui m'a guidée dans le monde si particulier des analyses statistiques! Je remercie de même Hannelore C. Sauerwein d'avoir corrigé les multiples épreuves de mes articles rédigés dans la langue de Shakespeare.

Merci ...

À mes parents, d'avoir toujours été à mes côtés et d'avoir toujours cru en moi...

À ma sœur, tout particulièrement, pour cette complicité qui ne peut exister qu'entre deux sœurs et pour ces fous rires incroyables!

À mes ami(e)s & collègues Rachel, Musuk, Ève, Bobby, Geneviève, Sophie, Sarah, Nathalie, Isabelle & toute l'équipe de la clinique de neurologie de l'hôpital Ste-Justine. Un remerciement tout spécial à Stéphanie, mon inséparable compagne thésarde, sans qui cette thèse ne serait certainement pas encore terminée...

Et finalement, surtout, un immense merci à Normand, mon ami, mon amoureux, mon compagnon de route, sans qui la vie n'aurait pas la même saveur ni la même couleur !

CHAPITRE 1
INTRODUCTION

Les enfants souffrant d'épilepsie sont plus susceptibles d'éprouver des difficultés académiques que leurs pairs (Aldenkamp, Alpherts, Dekker & Overweg, 1990), mais les facteurs sous-tendant ces problèmes d'apprentissage n'ont toujours pas été clairement identifiés et, malgré les nombreuses hypothèses étudiées, la littérature sur ce sujet demeure plutôt confuse (Seidenberg, 1989; Yule, 1980). Toutefois, étant donné la prépondérance et l'importance des problèmes de lecture retrouvés chez les enfants souffrant d'épilepsie (Stores & Hart, 1976), il est possible que ces difficultés académiques résultent de perturbations au niveau du développement des processus de lecture, lesquels constituent un outil essentiel à la réussite académique.

Dans cette introduction, les difficultés de lecture des enfants souffrant d'épilepsie seront d'abord documentées. Le développement du système de lecture et des habiletés métaphonologiques sera ensuite présenté. Les résultats d'études neuro-anatomiques, tant morphologiques que fonctionnelles, menées auprès de populations saines et cliniques (dyslexiques), ayant permis d'obtenir une meilleure connaissance des régions cérébrales impliquées dans la lecture seront enfin présentés. Les objectifs expérimentaux de la présente recherche seront finalement exposés.

L'ÉPILEPSIE CHEZ L'ENFANT

L'épilepsie constitue une des atteintes neurologiques chroniques les plus fréquentes chez l'enfant (Bolter, 1986), affectant entre 4 et 8 enfants sur 1000 (Hauser & Annegers, 1993). Elle se caractérise par des états transitoires de crises, résultant de décharges de potentiels d'action hypersynchrones et de voltage anormalement élevé, au niveau des neurones du cortex cérébral (Pellock, 1993; Porter, 1986). Ces crises peuvent impliquer d'emblée tout le cortex (crises généralisées), elles peuvent être convulsives ou non-convulsives ("absences"), et provoquent toujours une altération de conscience. D'autres peuvent prendre naissance focalement, c'est-à-dire dans un lobe cérébral (crises partielles); dans ce cas, la conscience est préservée, sauf dans les crises partielles complexes. Chez plus de 50% des individus souffrant d'épilepsie, la première crise survient au cours de l'enfance, souvent dans les deux premières années de vie, ou pendant l'adolescence (Hauser & Nelson, 1989; Glaser, 1979).

L'épilepsie peut être associée à une pathologie organique; son apparition est alors tributaire d'une atteinte cérébrale congénitale (ex: paralysie cérébrale) ou acquise (résultant par exemple d'un traumatisme crânio-encéphalique ou d'une maladie infectieuse); on parle dans ce cas d'épilepsie symptomatique. Il est toutefois souvent impossible d'identifier les causes sous-jacentes de l'épilepsie, dite alors épilepsie cryptogénique, bien que des études épidémiologiques suggèrent une prédisposition génétique dans un certain nombre de cas (Monetti, Granieri, Casetta, Tola, Paolino,

Malagu, Govoni & Quatrala, 1995). L'épilepsie symptomatique est généralement associée à un pronostic moins favorable que l'épilepsie cryptogénique et ce, tant au niveau intellectuel qu'académique. Un niveau de fonctionnement intellectuel subnormal est en effet plus fréquemment retrouvé dans la population d'enfants souffrant d'épilepsie symptomatique, alors que les enfants avec une épilepsie cryptogénique présentent le plus souvent des habiletés intellectuelles se situant dans les limites de la normale.

EPILEPSIE ET APPRENTISSAGE

Les résultats de travaux menés auprès de populations pédiatriques indiquent que les enfants souffrant d'épilepsie sont davantage susceptibles de développer des problèmes d'apprentissage que les enfants sains (Aldenkamp, Alpherts, Dekker & Overweg, 1990). Ainsi, jusqu'à 50% des enfants épileptiques obtiendraient des résultats scolaires se situant significativement sous la moyenne (Holdsworth & Whitmore, 1974; Verity & Ross, 1985). En outre, selon une étude réalisée par Austin et ses collaborateurs (1999), près d'un enfant sur deux souffrant d'épilepsie aurait repris une année scolaire avant l'âge de 14 ans. Ces difficultés académiques seraient particulièrement marquées en mathématiques, en épellation, de même qu'au niveau de l'exactitude et de la compréhension en lecture (Black & Hynd, 1995; Gourley, 1990; Stores & Hart, 1976; Mahapatra, 1990; Seidenberg & al., 1986), et ne seraient pas liées au niveau d'intelligence tel que mesuré par le quotient intellectuel (QI) (Mitchell, Chavez, Lee & Guzman, 1991). En effet, même après avoir corrigé leurs

résultats pour tenir compte du QI, Mitchell et ses collaborateurs (1991) ont observé que 38% des enfants présentaient toujours des déficits significatifs sur le plan de la compréhension en lecture, 32% en épellation et 31% en mathématiques.

Retards de lecture chez l'enfant épileptique

Les enfants souffrant d'épilepsie présenteraient un retard moyen de lecture d'approximativement 12 mois par rapport à leur âge chronologique et jusqu'à 18 % de ces enfants auraient plus de 2 ans de retard (comparativement à 6,8 % dans la population générale) (Rutter, Tizard & Whitmore, 1970; Williams, Sharp, Bates, Griebel, Lange, Spence, Thomas, 1996). Dans une étude visant à mieux comprendre la nature de ces difficultés, Mahapatra (1990) a comparé les performances en lecture d'enfants atteints d'épilepsie généralisée à celles d'enfants normaux appariés au niveau de l'âge, du sexe et du niveau d'éducation. Ces résultats ont montré que les enfants épileptiques présentaient, outre de plus faibles niveaux de lecture, des lacunes significatives en compréhension de lecture par rapport à leurs contrôles. Aucun écart significatif n'était cependant observé sur le plan de l'exactitude en lecture, telle qu'évaluée à l'aide d'une tâche de lecture de mots réels isolés.

Toutefois, si l'incidence des difficultés scolaires chez les enfants souffrant d'épilepsie est aujourd'hui bien documentée, les éléments sous-tendant cette vulnérabilité n'ont toujours pas été clairement identifiés. Bien qu'il soit maintenant bien établi que les attitudes parentales, les problèmes de comportement, la

médication anti-épileptique ou encore le taux d'absentéisme scolaire puissent avoir un effet sur le fonctionnement cognitif de ces enfants, certaines composantes inhérentes à l'épilepsie semblent jouer un rôle déterminant dans la maîtrise des processus de lecture.

L'intensité et la nature des déficits en lecture différeraient notamment selon le type d'épilepsie, soit généralisée ou focale. Des déficits spécifiques en lecture plus importants ont en effet été retrouvé chez les enfants présentant une épilepsie focale que chez ceux atteints d'épilepsie généralisée cryptogénique (Stores & Hart, 1976; Dam, 1990). Stores & Hart (1976) n'ont ainsi observé aucune différence entre le niveau de lecture moyen du groupe souffrant d'épilepsie généralisée et celui du groupe contrôle. Par contre, les performances des sujets atteints d'épilepsie partielle (focale) étaient significativement plus faibles que celles des enfants souffrant d'épilepsie généralisée, tant au niveau de l'exactitude (ici encore évaluée à l'aide d'une tâche de lecture de mots isolés) que de la compréhension en lecture. De plus, dans le cas d'une épilepsie focale, la localisation du ou des foyers épileptiques influencerait les profils de lecture. Ainsi, les enfants dont le foyer épileptogène se situait au niveau du lobe temporal gauche présentaient des déficits plus importants en compréhension que ceux ayant un foyer temporal droit.

L'âge de survenue des premières crises a de même été corrélé avec la performance académique chez les enfants épileptiques (Seidenberg, 1989) et une corrélation a été établie entre la sévérité des perturbations observées en lecture et la fréquence des crises. Au cours d'une étude comparative, Williams et ses collaborateurs (1996) ont en effet constaté que les performances en lecture d'enfants dont l'épilepsie était bien contrôlée depuis au moins 6 mois étaient supérieures à celles des enfants présentant une épilepsie incontrôlée et ce, nonobstant le type d'épilepsie (focale ou généralisée).

Ainsi, puisque les enfants souffrant d'épilepsie éprouvent davantage de difficultés d'apprentissage que leurs pairs, que celles-ci sont particulièrement marquées en lecture et sachant que ces déficits varient selon le type de crises (généralisée ou focale) ou selon la localisation du foyer épileptogène, il devient important de vérifier si une perturbation des processus même de lecture engendrée par la condition épileptique elle-même pourrait expliquer de telles difficultés de lecture. Cependant, pour comprendre comment la condition épileptique *per se* pourrait affecter l'acquisition de la lecture, il importe de mieux connaître les facteurs impliqués dans le développement des mécanismes de lecture.

ACQUISITION DE LA LECTURE

Les recherches développementales d'acquisition de la lecture suggèrent l'existence de deux processus distincts, impliqués dans le développement du système de lecture (Frith, 1985; Seymour & MacGregor, 1984). Dans un premier temps, l'enfant apprenti-lecteur développe lentement un répertoire de mots connus, en se basant sur la reconnaissance de la forme visuelle globale du mot, auquel il se réfèrera par la suite pour lire les mots qui lui sont visuellement familiers (Frith, 1985). Toutefois, à mesure que le nombre de mots à apprendre augmente, cette stratégie devient progressivement inefficace, puisque certains mots possèdent les mêmes formes visuelles globales. Par exemple, cette stratégie, qui permet la reconnaissance du mot *paille*, ne sera plus utile lorsque le mot *quille* devra aussi être reconnu (Castles & Coltheart, 1993). L'enfant doit par conséquent développer une seconde stratégie de lecture, dite phonologique. Celle-ci lui permet d'acquérir graduellement l'habileté d'associer des unités visuelles simples (graphèmes) à des unités phoniques abstraites (phonèmes) correspondantes (Frith, 1985). À l'aide de cette stratégie, il sera en mesure de dériver la prononciation d'un mot écrit non familier grâce à la segmentation du mot écrit en graphèmes auxquels il appliquera ces règles de correspondance lettre-son.

La complexité de l'apprentissage permettant la maîtrise de l'interface entre ces deux codes linguistiques (oral et écrit) varie toutefois selon le degré de transparence orthographique de la langue. Ainsi, plus la correspondance entre écrit et oral est

régulière (un même son ne correspond qu'à une seule graphie et vice-versa), plus l'acquisition des habiletés de décodage en lecture sera favorisée. Or, dans la langue française, contrairement à l'anglais, les correspondances phono-graphémiques sont plus irrégulières que les correspondances grapho-phonologiques qui elles, sont relativement régulières. Par exemple, le graphème *au* dans le mot "aumône" n'a qu'une seule correspondance phonémique possible (o). Le même son "o" a par contre plusieurs graphies possibles en dictée (ex : au, eau, os, ôt, ault, aux...). Les enfants francophones pourraient ainsi s'appuyer davantage sur les processus de traitement phonologique pour lire que leurs pairs anglophones.

La lecture constitue donc une activité fort complexe impliquant de nombreuses habiletés, tant cognitives que linguistiques. Il n'est dès lors pas surprenant qu'environ 20% des enfants intelligents et scolarisés ne réussissent pas à maîtriser parfaitement l'apprentissage de la lecture (Shaywitz, 1996). Divers travaux ont montré que bon nombre de ces enfants éprouvaient des difficultés de décodage s'accompagnant d'un déficit dans le traitement phonologique (Crowder & Wagner, 1991; Brady & Shankweiler, 1991). Ainsi, des difficultés au niveau de l'analyse de la structure sonore de la langue nuiraient à l'apprentissage des relations systématiques entre unités sonores et écrites, ce qui constituerait la source primaire des difficultés de reconnaissance des mots écrits. Par conséquent, pour être en mesure d'apprendre les correspondances lettres-sons impliquées dans la transcription orthographique, essentielles à l'apprentissage du décodage, l'enfant doit développer la conscience et

l'habileté à manipuler les constituants sonores de sa langue (Blachman, 1984). Une telle habileté est nommée conscience phonologique ou métaphonologie.

Il devient dès lors important de s'attarder sur le développement de la métaphonologie chez l'enfant, afin de tenter de déterminer si la présence d'une épilepsie pourrait entraver l'émergence de ces compétences et ainsi produire des déficits dans le traitement phonologique de la lecture chez les enfants atteints d'épilepsie.

Métaphonologie

Chez un enfant dont le développement langagier est normal, la conscience phonologique émerge progressivement entre l'âge de 4 et 6 ans (Stanovich, 1991). Toutefois, alors que certaines habiletés métaphonologiques émergeraient spontanément chez l'enfant pré-lecteur facilitant ainsi l'apprentissage de la lecture, d'autres se développeraient conséquemment à l'apprentissage du code alphabétique (Morais, 1994; Perfetti, Beck, Belle & Hughes, 1987).

Les résultats de travaux réalisés dans le but de mieux comprendre le développement métaphonologique suggèrent que l'enfant possède initialement une sensibilité implicite aux unités linguistiques qui se développerait progressivement avec le temps. L'enfant apprendrait ainsi à décomposer en unités syllabiques les représentations phonologiques sous-jacentes des items lexicaux, auparavant

enregistrées comme une seule et même unité. Reconnaisant de mieux en mieux les unités syllabiques composant un mot, l'enfant se montrerait par exemple capable d'effectuer des jugements de rimes, et il deviendrait graduellement apte à manipuler les syllabes (ex : segmenter un mot ou fusionner deux syllabes). Puis, au fil du temps, et notamment grâce à l'exposition à la lecture, les compétences métaphonologiques deviendraient de plus en plus élaborées. L'enfant deviendrait lentement en mesure de décomposer les unités syllabiques en unités plus petites (les phonèmes), qu'ici encore, il apprendrait à manipuler de façon stratégique et explicite. Les recherches ont d'ailleurs révélé que des enfants de 3 ans étaient capables de catégoriser des mots en se basant sur la rime et sur la structure syllabique, alors que les manipulations phonémiques étaient rarement possibles avant l'exposition à la lecture (Bradley & Bryant, 1983; Liberman, Shankweiler, Fisher & Carter, 1974). La syllabe semble donc être une unité linguistique plus rapidement et plus facilement accessible que le phonème (Goswami & Bryant, 1990; Treiman and Zukowski, 1991).

Un enfant qui ne réussirait pas à développer de bonnes habiletés métaphonologiques éprouverait des difficultés à maîtriser la stratégie de lecture phonologique, soit la voie de lecture permettant le décodage adéquat d'un mot écrit. De tels déficits sont caractéristiques d'un trouble développemental de lecture, la dyslexie dite phonologique, à l'inverse d'une dyslexie de surface, qui touche la reconnaissance de la forme visuelle globale d'un mot écrit.

Les épreuves de lecture de mots et non-mots isolés sont souvent utilisées pour évaluer l'efficacité de ces deux processus de lecture, soit les stratégies lexicales et phonologique. Ainsi, un mot d'orthographe irrégulière (ex: *femme*) ne pourra être lu correctement que si un enfant utilise la stratégie lexicale, puisque l'application stricte des correspondances grapho-phonologiques mènerait inévitablement à une production erronée. À l'opposé, un non-mot (ex: *banikérouta*) qui par définition ne possède aucune représentation mentale, ne pourra être lu qu'en appliquant ces règles de correspondance. En ce sens, la compétence métaphonologique serait une composante essentielle de la lecture de non-mots. Un mot d'orthographe régulière (ex: *matin*) pourrait quant à lui être lu soit à l'aide de la stratégie phonologique ou en utilisant la stratégie lexicale, dans la mesure où le mot est familier pour l'enfant.

La dyslexie phonologique se traduit par de bonnes habiletés de lecture de mots réguliers et irréguliers chez un individu qui éprouvera par ailleurs des difficultés significatives à lire des mots nouveaux et des non-mots, (Castles & Coltheart, 1993). À l'inverse, une dyslexie de surface, est caractérisée par une difficulté à lire des mots irréguliers, alors que les non-mots sont bien lus. Une telle difficulté, qui traduit généralement une atteinte de la voie lexicale, pourrait toutefois être exacerbée par un déficit phonologique, parce que le développement des deux stratégies de lecture (phonologique et lexicale) serait lié (Perfetti, 1992; Ehri, 1992; Share, 1995, 1999). En effet, selon Perfetti (1992), la constitution d'un lexique de représentations orthographiques bien spécifiées dépendrait en grande partie de la procédure de transcodage phonologique. Celles-ci seraient acquises de façon interactive : plus

efficientes seraient les règles de décodage, plus le nombre d'entrées acquises serait important et, plus ces entrées seraient nombreuses, plus les règles de décodage seraient efficaces. Ainsi, un déficit métaphonologique pourrait entraver à la fois l'apprentissage des correspondances grapho-phonologiques et par le fait même, nuire à la constitution d'un lexique orthographique (Pennington, Cardos-Martins, Green & Lefly, 2001).

Les études révèlent que, dans la majorité des cas, les déficits d'acquisition de la lecture apparaissent tributaires de déficits dans le traitement phonologique, ce dernier requérant entre autres de bonnes compétences métaphonologiques. Compte tenu de la prépondérance des problèmes de lecture chez l'enfant épileptique, il est légitime de croire que l'épilepsie, particulièrement l'épilepsie partielle affectant une région cérébrale précise, puisse entraver le développement de la métaphonologie et / ou de la phonologie. Selon cette hypothèse, l'épilepsie entraverait l'acquisition de la lecture lorsque les crises épileptiques affecteraient les régions cérébrales qui sont impliquées dans le traitement phonologique de la lecture chez les sujets neurologiquement sains.

SUBSTRATS NEUROANATOMIQUES & TRAITEMENT PHONOLOGIQUE

Études anatomocliniques et morphologiques

La question des bases neurobiologiques de la lecture a intéressé les chercheurs depuis le 19^e siècle. Depuis la première description détaillée du syndrome d'alexie effectuée par Déjerine en 1891, de nombreuses études anatomocliniques post-mortem réalisées chez des adultes dyslexiques ont permis de documenter la présence d'un dysfonctionnement hémisphérique gauche dans les troubles de lecture. Ces travaux ont ainsi révélé des anomalies cérébrales structurales, notamment au niveau des régions langagières des lobes temporaux. En effet, alors que le planum temporale et le pars triangularis sont typiquement plus larges dans l'hémisphère gauche que dans l'hémisphère droit chez les sujets normaux (Geschwind & Levitsky, 1968), une asymétrie inverse (Dalby, Elbro & Stokide-Jorgensen, 1998; Morgan & Hynd, 1998) ou une symétrie ont fréquemment été retrouvées chez les individus présentant une dyslexie (Galaburda, Sherman, Rosen, Aboitiz & Geschwind, 1985; Humphreys, Kaufmann & Galaburda, 1990).

Bien que les lobes temporaux aient fait l'objet de la plupart de ces études anatomocliniques, quelques chercheurs se sont également intéressés à la morphologie des lobes frontaux, plus particulièrement à celle du gyrus frontal inférieur gauche,

que l'on sait étroitement associé à la production du langage oral et donc fort probablement impliqué dans la lecture. Dans une étude neuropathologique, Galaburda et ses collègues (1985) rapportent la présence bilatérale de nombreuses ectopies et dysplasies au niveau du gyrus frontal inférieur chez des adultes présentant une dyslexie développementale.

Au cours des vingt-cinq dernières années, grâce au développement des techniques d'imagerie médicale par résonance magnétique (IRM), moult recherches neuroradiologiques ont été effectuées pour tenter de confirmer *in vivo* ces données. Les études IRM, qui fournissent des mesures volumétriques directes de régions cérébrales déterminées, ont montré une diminution volumétrique spécifique au niveau des lobes temporaux chez les individus dyslexiques, particulièrement importante au niveau du gyrus temporal gauche (Eliez, Rumsey, Giedd, Schmidt, Pateardhan, Reiss, 2000; Larsen, Hoein, Lundberg, Odegaard, 1990). Comparant des individus dyslexiques et normo-lecteurs, Larsen et ses collaborateurs (1990) ont observé une symétrie des plana temporales chez plus de 70% des participants dyslexiques. Cette asymétrie était par ailleurs retrouvée chez tous les sujets présentant un déficit phonologique en lecture, suggérant une implication temporale dans les déficits phonologiques spécifiques retrouvés dans la dyslexie.

Une revue de la littérature révèle par ailleurs que symétrie ou asymétrie inversée du planum temporale ne sont pas toujours observées (pour une revue de littérature détaillée voir Beaton, 1997 ou Shapleske, Rossell, Woodruff, David, 1999).

Certains auteurs ont en effet retrouvé un aspect symétrique aussi bien chez les dyslexiques que chez les sujets témoins (Duara, Kushch, Gross-Glenn, Barker, Jallad, Pascal & al., 1991; Leonard, Voeller, Lombardino, Morris, Hynd, Alexander, 1993), tandis que d'autres ont observé une asymétrie classique chez la plupart de leurs sujets dyslexiques (Schultz, Cho, Staib, Keir, Fletcher, Shaywitz & al., 1994). Qui plus est, ici encore, certaines études suggèrent une implication des régions frontales en lecture. Menant une étude IRM auprès d'enfants dyslexiques, Hynd et ses collaborateurs (1990) ont en effet révélé une symétrie des régions antérieures du langage chez ces enfants.

Bien que divers facteurs puissent être évoqués pour rendre compte de ces résultats apparemment contradictoires, telles des difficultés diagnostiques ou des différences techniques dans les critères de mesure (Habib, 2000), il appert que l'IRM ne peut à elle seule identifier avec certitude les régions cérébrales précises impliquées dans la dyslexie développementale.

Anatomie cérébrale fonctionnelle

Les récents progrès technologiques en matière d'imagerie médicale fonctionnelle ont permis d'obtenir une meilleure connaissance des aires corticales associées aux opérations cognitives impliquées dans la lecture. Ces méthodes d'investigation permettent en effet aux chercheurs d'étudier les modifications observées au niveau du débit sanguin cérébral (études SPECT, TEP, IRM

fonctionnelle) et du métabolisme cérébral (TEP) lors de tâches cognitives diverses, afin d'identifier les régions les plus actives lors de l'exécution de ces tâches.

De façon peu surprenante compte tenu de la complexité de cette activité cognitive qu'est la lecture, les résultats de ces études montrent une implication de plusieurs régions cérébrales. Toutefois, la multiplicité des méthodes d'imagerie fonctionnelle utilisées (ex : magnéto-encéphalographie, études TEP, IRMf), de même que les différentes techniques d'analyse (cartographie paramétrique statistique, région d'intérêt (ROI), etc.) et designs expérimentaux (ex : type de soustraction hiérarchique, tâches utilisées) entraînent une variabilité dans les résultats, ce qui rend difficile l'interprétation et la généralisation des données obtenues. La majorité des études d'anatomie fonctionnelle réalisées (toutes méthodes confondues) a néanmoins montré des activations significatives des aires sensorielles sollicitées lors de la lecture, soit celles du cortex visuel (cortex occipital) et auditif (gyrus temporal supérieur), ainsi que des régions classiques du langage et du cortex pré-central impliqué dans l'articulation (Price, Wise, Watson, Patterson, Howard, Frackowiak, 1994; Bookheimer, Zeffiro, Blaxton, Gaillard, Theodore, 1995).

Compte tenu du rôle important du traitement phonologique dans les troubles de lecture, bon nombre de chercheurs se sont plus particulièrement intéressés aux régions cérébrales associées à ce traitement. La plupart des travaux utilisant la tomographie par émission de positron (TEP) menés auprès d'individus normo-lecteurs, a montré une augmentation de l'activation au niveau des régions péri-

sylvienne et extra-sylvienne gauches lors du traitement phonologique de la lecture (Démonet, Chollet, Ramsay, Cardebat, Nespoulos, Wise & al., 1992; Demonet, Price, Wise, Frackowiak, 1994; Zatorre, Evans, Meyer, Gjedde, 1992; Binder, Swanson, Hammeke, Morris, Mueller, Fisher, & al., 1996). Plus spécifiquement, les tâches s'appuyant sur des processus phonologiques, notamment de segmentation ou d'assemblage, engendraient des activations au niveau du gyrus supramarginal et du gyrus temporal supérieur gauche (Price, Moore, Humphreys, Wise, 1997). Corroborant ces observations, l'ensemble des recherches réalisées auprès de sujets dyslexiques indique que des déficits dans le traitement phonologique de la lecture sont le plus souvent associés avec des anomalies d'activation de ces régions péri-sylvienne et extra-sylvienne gauches (Rumsey, Nace, Donohue, Wise, Maisog, Andreason, 1997; Rumsey, Andreason, Zemetkin, Aquino, King, Hamburger & al., 1992; Paulesu, Frith, Snowling, Gallagher, Morton, Frackowiak & al., 1996; Shaywitz, Shaywitz, Pugh, Fulbright, Constable, Mencl & al., 1998). Par ailleurs, parallèlement à cette hypoactivation, des augmentations d'activation significatives ont été observées au niveau du cortex frontal inférieur chez les sujets dyslexiques (Brunswick, McCrory, Price, Frith, Frith, 1999).

Les études d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) appuient cette hypothèse d'une implication des lobes temporal et frontal dans le traitement phonologique de la lecture (Pugh, Shaywitz, Shaywitz, Constable, Skudlarski, Fulbright & al., 1996; Shaywitz, Shaywitz, Pugh, Mencl, Fulbright, Skudlarski & al., 2002). Utilisant une procédure IRMf de soustraction hiérarchique,

Shaywitz et ses collaborateurs (1998) ont comparé les patrons d'activation cérébrale d'individus dyslexiques à ceux d'adultes normo-lecteurs à l'aide de tâches permettant de décomposer la reconnaissance visuelle d'un mot en ses différentes composantes cognitives (traitement visuo-perceptif, orthographique, phonologique ou sémantique). Leurs résultats ont montré que les patrons d'activation cérébrale observés lors du traitement phonologique impliqué en lecture différaient sensiblement entre les deux groupes de sujets. Ainsi, les individus normaux-lecteurs démontraient une augmentation significative d'activation cérébrale au niveau de la région temporale postérieure gauche (aire de Wernicke, gyrus angulaire), augmentation non observée chez les individus dyslexiques qui eux, présentaient par contre une plus grande augmentation d'activation du gyrus frontal inférieur gauche.

S'intéressant à l'impact de l'épilepsie focale d'origine temporale sur la lecture, Billingsley et ses collaborateurs (2001) ont repris les tâches de l'équipe de Shaywitz et les ont administrées à des adultes atteints d'épilepsie temporale et à des sujets témoins. Ils ont observé une plus grande activation au niveau du cortex frontal inférieur et du cortex latéral orbital de l'hémisphère gauche lors du traitement phonologique chez les patients épileptiques que chez les sujets normaux. Toutefois, contrairement aux résultats obtenus par Shaywitz et ses collaborateurs, les auteurs n'ont observé aucune augmentation d'activité significative au niveau des lobes temporaux pendant le traitement phonologique chez les sujets normaux (ni chez les sujets épileptiques), ce qui, selon eux, pourrait être attribuable au nombre restreint de participants dans leur étude et / ou à un temps d'exposition plus long.

Quoi qu'il en soit, il est aujourd'hui clairement établi qu'un nombre prépondérant d'enfants atteints d'épilepsie présente des difficultés significatives en lecture, un élément essentiel à la réussite académique. La sévérité de l'atteinte en lecture varierait notamment selon le type de crise dont souffre l'enfant (généralisée ou focale) et selon la localisation du foyer épileptogène. Or, puisque la majorité des troubles développementaux de lecture dépendent de déficits dans le traitement phonologique, il est légitime de postuler qu'un dysfonctionnement cérébral, tel que le suscite la survenue de crises d'épilepsie, puisse affecter le développement et la maîtrise d'habiletés de conscience phonologique, entravant ainsi l'automatisation des règles de correspondances grapho-phonologiques. Dans l'ensemble, les études neuroanatomiques et neuroradiologiques appuient cette hypothèse : le traitement phonologique semble en effet impliquer de façon significative les lobes temporaux et frontaux de l'hémisphère gauche (hémisphère dominant), ce qui pourrait expliquer que les épilepsies partielles soient associées à des difficultés plus importantes en lecture que l'épilepsie généralisée.

OBJECTIFS EXPÉRIMENTAUX

L'objectif principal de la présente recherche vise à mieux comprendre l'impact de l'épilepsie focale, d'origine temporale ou frontale, sur l'acquisition des processus de lecture, et plus spécifiquement sur le développement des habiletés phonologiques chez l'enfant. Une meilleure compréhension des facteurs entravant le développement de la lecture chez les enfants atteints d'épilepsie permettrait notamment d'intervenir de façon précoce et préventive auprès de ces enfants, de façon à favoriser l'acquisition subséquente de la lecture.

Néanmoins comme il existe, à notre connaissance, peu d'études concernant le développement métaphonologique chez l'enfant normal francophone, le développement métaphonologique sera d'abord étudié chez l'enfant normal. L'obtention de telles données permettra par la suite de comparer la performance d'enfants épileptiques à celles d'enfants normaux, appariés à la fois pour l'âge et pour le niveau scolaire, de façon à voir si un éventuel déficit en lecture chez les enfants atteints d'épilepsie relève davantage d'un retard de développement (donc performances semblables à celles d'enfants plus jeunes) ou plutôt d'un développement atypique du système de lecture.

Première étude

L'objectif principal de la première étude consiste à documenter le développement et l'évolution des habiletés métaphonologiques et des processus de lecture chez l'enfant sain, compte tenu du nombre restreint d'études développementales menées auprès d'enfants francophones.

Afin de répondre à cet objectif, une étude transversale a été entreprise auprès de 89 enfants normaux, âgés de 5 à 12 ans, et groupés selon leur niveau scolaire. Dans un premier temps, l'exécution de tâches expérimentales de conscience phonologique devrait permettre d'évaluer et de mieux comprendre l'évolution de la compétence métaphonologique selon l'âge, tandis que l'administration de tâches de lecture de mots isolés (d'orthographe régulière et irrégulière, ainsi que de non-mots) permettra d'évaluer l'efficacité des processus de lecture chez ces enfants. Les résultats obtenus seront ensuite comparés afin d'approfondir la compréhension de la relation réciproque existant entre le développement métaphonologique et l'acquisition de la lecture. Des études suggèrent en effet que certaines habiletés métaphonologiques seraient nécessaires pour apprendre à lire, tandis que d'autres se développeraient conséquemment à l'apprentissage du code alphabétique.

Hypothèses générales :

- (a) Se développant avant l'apprentissage de la lecture, les habiletés de conscience phonologique davantage implicites (ex: tâche de reconnaissance de rimes) devraient être rapidement maîtrisées même par les enfants plus jeunes. De la même façon, les tâches impliquant les unités syllabiques devraient être plus rapidement et plus facilement réussies que celles impliquant des unités phonémiques.
- (b) Les habiletés de lecture devraient s'améliorer tout au long du cours primaire, alors que les habiletés métaphonologiques devraient cesser de se développer à partir du moment où les règles de correspondance grapho-phonologiques sont automatisées et que la lecture est pleinement fonctionnelle.

Seconde étude

La seconde étude est une étude pilote visant à explorer les conséquences possibles de l'épilepsie focale d'origine temporale au niveau de la lecture et de la métaphonologie, où seront comparées les performances de jumelles identiques, âgées de 13 ans, dont l'une souffre d'épilepsie (sujet L.B.). Une telle étude permettra d'éprouver les hypothèses élaborées dans le présent travail de recherche avant

d'entreprendre une étude de groupe, constituée d'enfants souffrant de différentes formes d'épilepsie. La comparaison des performances de jumelles identiques semble en outre particulièrement intéressante puisque certains facteurs pré-scolaires peuvent influencer l'acquisition de la lecture, telles les activités de pré-lecture offertes à la maternelle, les attitudes parentales vis-à-vis de la lecture ou encore les méthodes d'enseignement. Les performances de L.B. seront ensuite comparées à celles de 10 individus sains, du même âge et du même niveau d'intelligence.

Hypothèse générale :

Comme L.B. démontre un foyer temporal gauche, des déficits significatifs devraient être observés chez L.B., tant en lecture qu'en métaphonologie.

Troisième étude

L'objectif de la troisième et dernière recherche vise à étudier les conséquences possibles au niveau de la lecture et de la métaphonologie de différents types d'épilepsie, soit : 1) une épilepsie focale d'origine temporale, 2) une épilepsie focale d'origine frontale et 3) une épilepsie primaire généralisée de type "petit mal / absence".

Pour répondre à cet objectif, des tâches normalisées de lecture et des épreuves expérimentales de métaphonologie ont été administrées à trois groupes d'enfants ($n = 10$ sujets par groupe) présentant un des ces trois types d'épilepsie.

Leurs performances seront comparées à celles de 3 sous-groupes ($n=10$) d'enfants normaux, appariées selon l'âge et le niveau scolaire.

Hypothèses générales :

- (a) Compte tenu de l'ensemble des résultats d'études portant sur l'épilepsie, des déficits significatifs en lecture devraient être observés pour les trois groupes d'enfants souffrant d'épilepsie.
- (b) Puisque la majorité des troubles développementaux de lecture dépendent de déficits dans le traitement phonologique et que celui-ci implique principalement les lobes frontal et temporal, des déficits plus importants en métaphonologie devraient être observés chez les enfants présentant une épilepsie focale, d'origine frontale ou temporale, que chez ceux souffrant d'épilepsie de type « petit mal / absences ».

CHAPITRE 2

SECTION EXPÉRIMENTALE

Expérience 1

**Development of reading and metaphonological abilities: A transversal study
of French-speaking children aged 5 to 12 years.**

Vanasse, C.M., Bégin-Bertrand, L., Courcy, A., Lassonde, M. & Béland, R. (accepté).
Development of reading and metaphonological abilities: A study of French-speaking
children aged 5 to 12 years. *Journal of Multilingual Communication disorders*.

Abstract

We investigated the development of phonological awareness and reading abilities in French-speaking children aged 5 to 12 years. Participants were divided into seven groups (kindergarten to grade 6). Metaphonological tasks included segmentation, blending and inversion at the syllable and the phoneme level, reading of regular and irregular words and nonwords, rhyme production and rhyme recognition. We hypothesised that: 1- children will rely more heavily on phonological awareness in the first years of reading acquisition; 2- development of phonological awareness at the phoneme level will facilitate reading of regular words and nonwords. Results in metaphonological tasks showed a clear developmental progression between kindergarten and 2nd grade. Regular words were easily read in grade 2, nonwords were adequately decoded in grade 3, whereas irregular word reading gradually increased until grade 6 and beyond. These results suggest that the facilitatory effect between phonological awareness and reading appears to be limited to the phoneme unit.

Key words : reading acquisition – phonological awareness

Introduction

Reading is a cognitive process allowing the understanding of written words and linguistic messages based on the recognition of a graphic code such as letters, syllables and words. It is a complex cognitive ability - and one of the most important - acquired during the first schooling years. Results of an extensive longitudinal study conducted since 1983 in the United States indicate that up to 20 % of intelligent, normally developing children fail to learn to read (Shaywitz, 1996). Most of these children exhibit difficulties in the decoding of written words, which are thought to arise from a deficit in the awareness of the phonological structure of words (Crowder and Wagner, 1991). Such difficulties would prevent learning of the systematic relationships between spelling and sounds, this being considered the primary source of these children's word recognition problems. The learning of letter-sound correspondences involved in alphabetic transcription and subsequent decoding appears facilitated by the development of the awareness and the ability to manipulate the sound units of language (Blachman, 1994). This ability, known as phonological awareness or metaphonology, gradually emerges between the ages of four and six years.

Although the specific nature of the relationship between phonological awareness and reading acquisition remains an open question (Ehri, 1989), a growing body of work tends to indicate that this relationship is one of "reciprocal facilitation" (Perfetti, Beck, Bell and Hughes, 1987). According to this view, some abilities

naturally emerge prior to formal literacy exposure whereas others are thought to develop as a consequence of learning to read (Morais, 1994). However, this reciprocal relationship yet remains largely undefined because of a lack of developmental studies, particularly in the French language.

Not all metaphonological abilities are equally related to reading acquisition and therefore not all of these abilities should develop at the same rate. For instance, phonological manipulations involving phonemic linguistic units should be more important for mutual interactions between metaphonology and reading acquisition than manipulation of syllables and rhymes, since reading requires the decoding of phonemes rather than that of syllables or rhymes. Support for this assumption comes from findings indicating that manipulation of syllables becomes accessible to children long before they are exposed to literacy, whereas manipulation of phonemes is rarely seen in pre-literate children (Treiman and Zukowski, 1991). In fact, Courcy and his colleagues (2000) have shown that even pre-literate children considered to be at risk of presenting reading acquisition difficulties can adequately manipulate syllables. The type of task or manipulation required (e.g. blending, segmentation, inversion) should also have an impact on the ontogenesis of phonological awareness. Hence, certain metaphonological abilities, such as blending skills, are especially important for reading since decoded phonemes need to be blended for fluent reading of the word, whereas other skills, such as inversion competency, have no direct implication in reading.

Reciprocal influence between metaphonological abilities and reading should also differ according to the type of words to be read (regular words, irregular words or nonwords). Thus, phonological awareness should be crucial for the decoding of nonwords since the latter have no representation in long-term memory. Under certain circumstances, however, nonwords can be read by analogy with real words. When such an item (or parts of it) resembles a real word, it is thought to elicit a lexical representation of this word in long-term memory. However, in general, decoding of nonwords is only possible by applying spelling-to-sound correspondence rules, and these operations require good metaphonological competency. Reading of words with regular spelling-to-sound correspondence also relies on metaphonological skills but to a lesser extent since reading of these items can also be achieved by recognition of the word's visual pattern. Reading of irregular words, on the other hand, is entirely dependant upon visual pattern recognition and should but scarcely depend on metaphonological competency.

The principal aim of the present study was to further investigate the emergence of reading and metaphonological skills in French-speaking children. The central question was: does increasing competency in reading enhance phonological awareness? We hypothesised that the development of metaphonological skills will depend on the type of task or manipulation required (e.g. blending, segmentation, inversion) and the nature of the linguistic unit involved (e.g. syllable, rhyme or phoneme). We expected manipulations involving phonemic units to evolve gradually as children become more experienced readers, whereas manipulation of syllables and

rhymes would be mastered prior to literacy exposure. Specific metaphonological abilities such as blending should develop early in the course of reading acquisition as opposed to other skills (e.g. inversion competency) that are not directly implicated in reading. We further postulated that mutual interactions between metaphonology and reading would differ according to the type of words read (regular words, irregular words and nonwords). Metaphonological competency should have a greater impact on nonword and regular word reading performances than on irregular word reading performance, which depends primarily on visual pattern recognition. Finally, we expected metaphonological development to stabilize once these abilities have been established and sound-to-spelling correspondences have become automatic.

Methods

Subjects

Eighty-nine French-speaking children, 28 boys and 61 girls, aged 6 to 12 years (mean age: 9.34 years), without a history of learning disabilities were recruited from four urban schools in Montreal. Informed consent for participation was obtained from their parents. Participants were divided in seven groups ranging from kindergarten to grade 6 (see Table I).

Table I. Description of child sample

Measures		Groups						
		Kinder -garten (n=10)	1 st grade (n=12)	2 nd grade (n=13)	3 rd grade (n=13)	4 th grade (n=13)	5 th grade (n=15)	6 th grade (n=13)
Gender Ratio	(M/F)	5/5	4/8	3/10	4/9	4/9	4/11	4/9
Age (months)	Mean (SD)	73.6 (3.66)	87.6 (3.63)	98.2 (4.14)	108.6 (4.65)	122.2 (3.44)	133.3 (3.83)	142.7 (6.06)
DEN 48 task (%)	Mean	—	—	74.5	70.5	77.7	79.6	78.2
PPVT (percentile rank)	Mean (SD)	—	—	90 (16.4)	91.6 (8.0)	86.8 (11.4)	81.5 (15.4)	79.1 (16.4)

Inclusion criteria were: normal language development, absence of perinatal complications or documented neurological disorder and absence of uncorrected visual or auditory problems. Visual acuity, assessed using the Rosenbaum visual pocket vision screening test (Rosenbaum, 1976), was normal for all participants, while audiometric evaluation indicated no more than one auditory threshold at 35dB for all tested frequencies in all children. Normal auditory discrimination capacities were also required, as assessed by asking the child to judge whether pairs of monosyllabic stimuli presented auditorily were identical or not. In this task, no individual performance fell under 95%. Further preliminary testing confirmed age-appropriate language skills for all children. Expressive and receptive language skills were evaluated by means of a denomination task (DEN 48: L  g   and Dague, 1976) and the French version of the Peabody Picture Vocabulary Test (PPVT; Dunn,

Thériault-Whalen and Dunn, 1993), respectively. As can be seen in Table I, all groups performed within age expectation.

Material

1. Metaphonological awareness tasks

The metaphonological tasks, developed by our group (Courcy, Béland & Pitchford, 2000), were exclusively composed of nonwords in order to limit semantic processing in phonological manipulation. All stimuli followed French pronunciation rules and were therefore phonologically possible. Tasks required manipulation of different levels of complexity with segmentation tasks being easier than blending and inversion tasks. In addition, several tasks requiring manipulation of syllabic and phonemic units were elaborated to compare the effect of unit size. Furthermore, a rhyme recognition and a rhyme judgment task were included as additional measures of metaphonological abilities. The use of nonwords in the rhyme production task is especially important since it eliminates a possible bias with regard to greater lexical knowledge in older children that could influence the results.

- *Rhyme Judgment Task.* Using a Digital Audio Tape (DAT) system, 24 pairs of simple disyllabic nonwords (12 rhyming and 12 non-rhyming items) were presented to the subject who was asked to determine if the items rhymed.
- *Rhyme Production Task.* Subjects were required to produce nonwords, which rhymed with each of the 30 target nonwords of two syllabic structures (15 CVCV and 15 CVCVC).

- *Syllabic and Phonemic Blending Tasks.* The subjects listened either to syllables or phonemes presented at a rate of one per second; they were then asked to pronounce the nonword that resulted from blending the units. The syllabic task comprised twenty pairs of monosyllabic stimuli (either CV, CCV or VC). The phonemic blending task was composed of 12 pairs of phonemes (6 CV and 6 VC).
- *Syllabic and Phonemic Segmentation Tasks.* Subjects had to decompose a nonword presented orally by the experimenter in either syllables or phonemes. The syllabic task consisted of 20 simple disyllabic nonwords. The phoneme task included 16 monosyllabic stimuli (8 CV and 8 VC structures).
- *Syllabic and Phonemic Inversion Tasks.* Subjects were asked to invert either syllables or phonemes of a nonword presented by the experimenter. Eighteen (18) simple disyllabic stimuli composed the syllabic test while 12 stimuli were included in the phoneme task.

2. Reading tasks

These tasks evaluated the child's capacity to read single words and nonwords.

- *Regular and irregular word reading task:* Subjects were given the word reading subtest from the BELEC (Mousty, Leybaert, Alegria, Content and Morais, 1994), a reading battery for French-speaking children composed of 24 regular and 24 irregular words (nouns, verbs, adjectives) that are matched for the number of letters and syllables and their frequency of occurrence in the French language.

- *Nonword reading task.* To assess efficiency of phonological decoding and the effect of word length, the child had to read a list of 40 simple nonwords composed of 2 - 5 syllables. There were no time constraints in this task and all items remained in view of the child until he/she had finished reading them.

Procedure

The stimuli were presented in a sound-attenuated room by means of a DAT system at a comfortable listening level. Experimental trials were preceded by several practice trials during which the children were given feedback on their performance. Subjects' responses were recorded on tape and transcribed by the experimenter. Accuracy was coded online and verified on the recorded version.

Results

1. Phonological awareness tasks

Mean percentages of correct responses for each of the eight metaphonological tasks and each group are presented in Table II. Statistical analyses were conducted on the rhyme judgment task followed by ANOVAs on the remaining metaphonological tasks.

The rhyme judgment task was easily achieved by all children and no mean performances fell under 90%. However, since this task is a "yes/no" task, statistical analyses were performed on the Pr and Br indexes developed by Snodgrass and

Corwin (1988), where Pr is a measure of discrimination performance (a large Pr indicates stimuli are better discriminated) and Br constitutes an index of response bias, varying from 0 to 1. The one-way analysis of variance with Group as between-subjects factor was not significant for either index (Pr, $[F(4, 62) = 2.238, p > .05]$; Br, $[F(4, 62) = 2.025, p = > .05]$).

Table II. Percentage of correct responses obtained on metaphonological and reading tasks.

Tasks	Groups						
	kinder- garten	1 st grade	2 nd grade	3 rd grade	4 th grade	5 th grade	6 th grade
<i>Metaphonological tasks</i>							
Rhyme judgment	91.7	92.4	97.7	95.8	95.8	98.1	99.7
Rhyme production	52.3	62.2	88.2	79.2	81.5	88.9	89.2
Syllabic blending	92.5	92.9	96.2	91.5	96.2	97	98.1
Phonemic blending	35	88.9	96.2	99.4	98.7	97.2	96.1
Syllabic segment.	99.5	91.7	94.6	93.8	93.8	96.7	97.3
Phonemic segment.	12.5	89.1	87.5	90.9	92.3	91.3	90.4
Syllabic inversion	81.1	87.5	88.9	90.2	91	94.8	95.3
Phonemic inversion	11.7	70.8	94.2	94.9	94.9	95.3	87.8
<i>Reading tasks</i>							
Regular words	-	-	97.1	96.2	97.4	99.7	99.4
Irregular words	-	-	67.3	71.2	89.7	91.9	89.1
Nonwords	-	-	83.7	85	89.2	91.8	88.5

A two-way ANOVA (Group x Task) was conducted on the seven remaining metaphonological tasks followed by multiple comparisons (using Tukey HSD) for significant effects. As can be seen from Table II, the performances of kindergarten

children and first graders differed from those of the older children (grades 2 – 6) on most tasks, but most specifically those involving phonemic manipulation, whereas the 2nd - to 6th- graders obtained comparable performances. Statistical analyses yielded group effects for the syllabic inversion task [$F(6, 82) = 3.578, p < 0.01$] and the syllable blending task [$F(6, 82) = 2.628, p < 0.05$], basically due to the poorer performance of the kindergarten children with respect to the older participants.

Furthermore, significant group differences were obtained on all phonemic tasks: phonemic blending [$F(6, 82) = 56.606, p < 0.0001$], phonemic segmentation [$F(6, 82) = 32.316, p < 0.0001$] and phonemic inversion tasks [$F(6, 82) = 45.586, p < 0.0001$]. Again, multiple comparisons (Tukey HSD) revealed that kindergarten children performed more poorly than children in grade school on all tasks involving phonemic manipulation (e.g. phonemic blending, segmentation, inversion). First-graders also performed less well than 2nd-, 3rd-, 4th- and 5th-graders on the phonemic inversion task.

Finally, the analysis for rhyme production yielded a significant group effect [$F(4, 82) = 8.614, p < 0.0001$] showing once more that the kindergarten group had greater difficulties than the other six groups ($p < 0.05$). Similarly, 1st-graders committed significantly more errors than 2nd-, 5th- and 6th graders in this task ($p < 0.05$) and they tended to perform more poorly than 3rd- and 4th-graders ($p < 0.1$).

Linear trend analyses were conducted on tasks where no ceiling effects were observed (e.g. phonemic and syllabic inversion tasks and rhyme production task), in order to study effects of age and years of schooling. A significant developmental trend was obtained for all tasks (syllabic inversion task [$F(6,1) = 19.5, p < 0.0001$], phonemic inversion task [$F(6, 1) = 126.594, p < 0.0001$], rhyme production task [$F(6,1) = 34.797, p < 0.0001$]), indicating that children gradually become more competent at the manipulation of both syllable and phoneme unit.

Comparison of unit size (syllable vs. phoneme)

In order to determine any possible effect of unit size, a composite score was calculated averaging mean performances obtained on blending, segmentation and inversion tasks for each unit size (phoneme and syllable). Two-way ANOVA (Group (7) X Unit size (2)) yielded significant main effects for Group [$F(6, 80) = 50.69, p < 0.001$] and Unit size [$F(1, 80) = 108.82, p < 0.001$] as well as a significant interaction Group x Unit size [$F(6, 80) = 59.21, p < 0.001$]. A break-down of the main effects revealed that unit size had an impact only on kindergarten children [$F(1, 80) = 395.62, p < 0.001$] and 1st -graders [$F(1, 80) = 6.96, p < 0.01$]. These children performed better on tasks involving syllable manipulation than on those requiring phoneme manipulation. No significant unit size differences were observed for the older groups (grades 2 - 6).

2. Reading tasks

The results of the literate children (grades 2 to 6) obtained on the reading tasks are shown at the bottom of Table II. No significant effect of gender was observed in these tasks [$T(65) = 1.210$, $p = >.05$]. Furthermore, comparisons of the mean performances of the present sample with established age norms (Mousty *et al.*, 1994) revealed no discrepancy between actual and expected reading abilities on regular and irregular word reading tasks.

Linear trend analysis revealed a clear developmental progression for regular and irregular word reading abilities ($[F(4, 1) = 126.406$, $p < 0.001]$ and $[F(4, 1) = 36.699$, $p < 0.000$, respectively]) as well as a trend for increasing nonword decoding skills with years of schooling [$F(4, 1) = 326.097$, $p = 0.05$] (Figure 1).

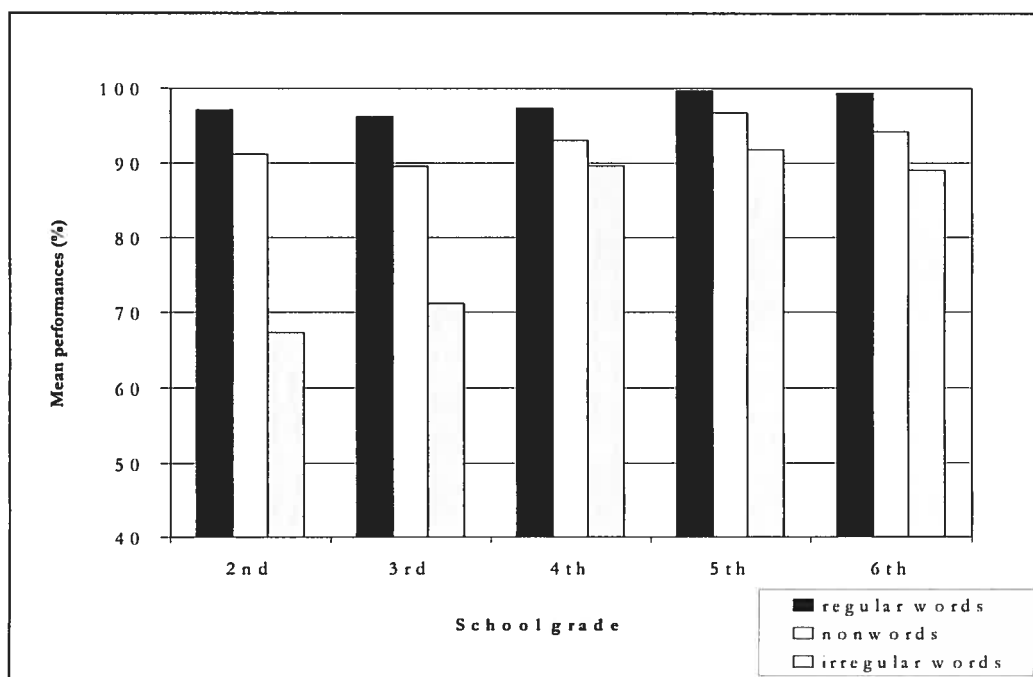


Figure 1. Mean performances (%) for each group on regular words, nonwords and irregular words.

To further investigate the effect of schooling on reading abilities, a Group (7) x Word type (3) ANOVA was conducted comparing reading performance of regular, irregular words and nonwords. For purposes of comparison, analyses were performed using mean performances obtained on 2- and 3-syllable nonword stimuli only, since real words (regular and irregular) were composed of no more than 3 syllables. The analysis yielded significant main effects for Group [$F(4, 62) = 10.91, p < 0.001$] and Word type [$F(2, 124) = 82.60, p < 0.001$] and a significant Group x Word type interaction [$F(8, 124) = 8.07, p < 0.001$]. Post-hoc analyses revealed that 2nd-graders performed significantly better with regular words (mean performance: 97.1%) than with irregular words (67.3%) or nonwords (83.7%) [$F(2, 124) = 58.86, p < 0.001$]. No significant difference between regular word and nonword decoding was found in 3rd-graders, but irregular words were more poorly decoded than regular words by this group [$F(2, 124) = 39.78, p < 0.001$] and by 4th-graders [$F(2, 124) = 3.52, p < 0.05$]. Qualitative analysis revealed that, regardless of school grade, most of the errors committed in irregular word reading were regularization errors (ex : <ch> in “écho” being read as the <ch> of “chat” rather than as /k/). No significant differences for word type were observed in 5th- and 6th-grade children [$F(2, 124) = 4.19, p > 0.05$ and $F(2, 124) = 6.23, p > 0.05$, respectively].

Discussion

The present findings provide insight into the developmental path of metaphonological skills and reading ability in French-speaking children. Furthermore, they shed new light on the nature of the relationship between metaphonological competency and reading acquisition.

A developmental pattern emerged indicating that metaphonological competency is achieved in grade 2 (around age 8). As expected, pre-literate kindergarten children successfully manipulated syllabic units but failed to manipulate phoneme units. The children's ability to manipulate phonemes increased between kindergarten and 2nd grade and stabilized in the higher grades. This developmental trend in phonological awareness cannot be attributed to differences in lexical knowledge between the groups since only nonwords were used in the metaphonological tasks, which have no semantic representation in long-term memory.

The findings of this study are consistent with earlier data obtained by Courcy, Béland and Pitchford (2000) indicating that syllables constitute more accessible units of linguistic processing than phonemes. Furthermore, the significant improvement in phonemic manipulation during the first two years of reading acquisition

corroborates the hypothesis stipulating that formal literacy exposure facilitates development of metaphonological abilities.

While phoneme manipulation was generally enhanced by reading acquisition, this was not the case for rhyme production. None of the groups achieved perfect performance on this task, suggesting that the ability to rhyme is a phonological skill that continues to develop beyond grade 6. This finding corroborates the results of Lundberg, Frost and Peterson (1988) in English-speaking children which suggest that rhyming development is independent from literacy exposure. However, our results suggest that the developmental pattern of phonological awareness differs between French- and English-speaking children. French-speaking children appear to have access to syllables long before they can successfully rhyme, whereas their English-speaking peers are thought to acquire rhyming precociously (around age 4), simultaneously or right after having developed syllable awareness (Bradley and Bryant, 1983). In fact, it has been proposed that the early acquisition of rhyming ability is a necessary step in the development of phonemic awareness skills (Cataldo and Ellis, 1990). The pattern obtained in our study, however, suggest that mastery of the rhyme unit is not a prerequisite for the development of phonemic competency in French.

Our results confirm the notion that not all phonological awareness tasks are equally important for reading, and that not all develop at same rate. Specific metaphonological abilities that are intimately linked to reading, such as segmentation

ability, appear to develop very early in the course of reading acquisition, whereas those not directly involved in the development of the reading system emerge at a later stage. In the present study, good segmentation and blending abilities were already present in 1st-graders, whereas rhyme production and inversion abilities continued to develop beyond grade 2. The gradual improvement as children become more experienced readers suggests that the development of these latter skills also benefits from reading acquisition. In fact, it is plausible that a child who has become literate can draw upon the newly acquired written or mental representations to accomplish metaphonological manipulations. Other factors influencing the performance are differences in task demands. Evidently, tasks involving only auditory perception require fewer mental resources than those requiring both auditory perception and verbal production.

With regards to reading development, it comes as no surprise that children become more competent readers with increasing literacy exposure. Regular words are mastered in grade 2 whereas nonwords with similar syllabic structure and number of syllables are not well read before grade 3. This developmental trend probably reflects increasing mastery of grapho-phonological correspondences, which in turn is based on increasing metaphonological competency that culminates in 2nd grade. In contrast, the ability to read irregular words increases only after grade 3 and continues to develop until grade 6 and possibly beyond. Since the acquisition of irregular words is almost exclusively based on visual pattern recognition, its development would benefit primarily from increasing lexical exposure rather than from

metaphonological competency. Metaphonological competency could, however, play an indirect role. According to Perfetti (1992), orthographic representations would develop reciprocally with decoding correspondence rules which require good metaphonological competency. Hence, the acquisition of decoding correspondence rules would allow for a greater number of entries in an orthographic representation lexicon, which in turn would favor the development of greater phonological skills.

These findings deviate once more from observations in English-speaking children (Manis *et al.*, 1996). The developmental pattern of performance obtained from these children can be summarized as follows: *Regular words* > *Irregular words* > *Nonwords*, whereas our results can be expressed as: *Regular words* \geq *Nonwords* > *Irregular words*. It is possible that French-speaking children rely more heavily on phonological processing in the first stage of reading acquisition, especially since most errors committed by our subjects on irregular words were regularization errors, indicating the use of a phonological reading strategy.

Conclusion

The findings of this transversal study confirm the hypothesis that formal literacy exposure facilitates metaphonological competency development. In French-speaking children, phonological competency is achieved around the age of 8 years corresponding to grade 2. In keeping with previous findings, the reciprocal facilitatory effect is limited to the phoneme level since syllable manipulation is already

mastered at the pre-literacy level. Contrary to findings obtained in English-speaking children, where manipulation of rhyme units appears to be acquired precociously (around age 4), rhyming acquisition in French-speaking children seems to develop gradually during the first 6 years of schooling and possibly beyond. This would suggest that becoming a more skillful reader enhances the level of phonological awareness. However, mutual interactions between metaphonology and reading seem to vary according to the type of the metaphonological manipulation involved. Manipulations not directly involved in reading, such as inversion, develop at a slower rate than those that are more intimately linked to reading.

While metaphonological competency appears to stabilize once reading is acquired, reading ability continues to improve throughout schooling years. Although good phonological awareness skills facilitate mastery of grapho-phonological correspondences, thereby permitting adequate reading of nonwords, they seem to play only a minor role in the development of irregular word reading ability.

Acknowledgments

This work was supported by grants from the Savoy Foundation for Epilepsy and from the Québec Formation de Chercheurs et Aide à la Recherche (FCAR) awarded to Dr. Maryse Lassonde.

References

- Blachman, B.A. (1994). Early literacy acquisition. In : G.P. Wallach and K.G. Butler (Eds). *Language Learning Disabilities in School-Age Children and Adolescents*, (pp. 253-274). New York : McMillan College Publishing Company.
- Bradley, L., Bryant, P.E. (1983). Categorizing sounds and learning to read – A causal connection. *Nature*, 301:419-421.
- Cataldo, S. & Ellis, N. (1990). Interactions in the development of spelling, reading and phonological skills. *Journal of Research in Writing*, 11(2):86-109.
- Crowder, R.G., and Wagner, R.K. (1991). *The psychology of reading : An introduction* (2nd ed. rev.). New York : Oxford University Press.
- Courcy, A., Béland, R. & Pitchford, N. (2000). Phonological awareness in French-speaking children at risk for reading disabilities. *Brain and Cognition*, 43(1-3):124-30.
- Dunn, L.M., Thériault-Whalen, C.M., and Dunn, L.M. (1993). *Échelle de vocabulaire en images Peabody, EVIP*. Psycan.
- Ehri, L. (1989). The development of spelling skills and its role in reading acquisition and reading disability. *Journal of Reading Disabilities*, 22:356-365.
- Légé M, Dague S, editors. *Test de vocabulaire DEN 48*. Paris: Éditions Scientifiques Elsevier, 1976.
- Lundberg, I., Frost, J., Peterson, O.P. (1988). Effects of an extensive program for stimulating phonological awareness in preschool children. *Reading Research Quarterly*, 23:263-284.
- Manis, F.R., Seidenberg, M.S., Doi, L.M., McBride-Chang, C. & Petersen, A. (1996). On the bases of two subtypes of dyslexia. *Cognition*, 58:157-195.
- Morais, J. (1994). *L'art de lire*. Paris :Éditions Odile Jacob.
- Mousty, P., Leybaert, J., Alegria, J., Content, A., Morais, J. (1994). *Batterie d'évaluation du langage écrit et de ses troubles (BELEC)*, Laboratoire de psychologie expérimentale, Université libre de Bruxelles.

- Perfetti, C. (1992). The representation problem in reading acquisition. In: P.B. Gough, L.C. Ehri & T.R. Treiman (Eds), *Reading Acquisition* (pp.145-174). London: Lawrence Erlbaum.
- Perfetti, C., Beck, I., Bell, I., Hughes, C. (1987). Phonemic knowledge and learning to read are reciprocal : A longitudinal study of first-grade children. *Merill-Palmer Quarterly*, 33:282-319.
- Rosenbaum, J.G. (1976). Rosenbaum pocket vision screening test. Cleveland, Oh.
- Shaywitz, S.E. (1996). Dyslexia. *Scientific American*, 275(5):98-104.
- Snodgrass, J. G., & Corwin, J. (1988). Pragmatics of measuring recognition memory: Applications to dementia and amnesia. *Journal of Psychology:General*, 1:34-50.
- Treiman, R. & Zukowski, A. (1991). Levels of phonological awareness. In : S.A. Brady & D.P. Shankweiler (Eds.). *Phonological processes in literacy : A tribute to Isabelle Y. Liberman*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.

Expérience 2

Impact of temporal lobe epilepsy on phonological processing and reading: A case study of identical twins.

Vanasse, C.M., Béland, R., Jambaqué, I., Lavoie, K., Lassonde, M. (2003). Impact of temporal lobe epilepsy on phonological processing and reading: A case study of identical twins. *Neurocase*, 9(6):515-522.

Abstract

In order to evaluate the possible consequences of temporal lobe epilepsy on reading acquisition, we first compared the reading skills and phonological awareness abilities in a set of 13-year-old identical twins, one of whom is affected by temporal lobe epilepsy (L.B.). We then compared their performances to those of an age- and IQ-matched control group. Both siblings have an intellectual quotient above average as well as normal memory and linguistic abilities. Results showed that the reading age of L.B. (assessed by the Lefabvrais French reading test) was more than two years behind expectations whereas that of her sister was above average. Further, in contrast to her sister and healthy control subjects, L.B. exhibited specific deficits in elaborate metaphonological awareness abilities (nonword repetition, rhyme production, phonemic segmentation and syllabic inversion). These could be linked to temporal lobe dysfunction, thus confirming the important role of the temporal lobes in reading acquisition.

Introduction

Epilepsy is a rather common neurological condition in the pediatric population. It is well documented that epileptic children have an increased frequency of educational problems compared to their healthy peers (Aldenkamp et al., 1980; Seidenberg, 1989; Seidenberg et al., 1986). Several studies have revealed that epileptic children are approximately one year behind expectations in reading ability compared to their chronological age (Long, 1979; Rutter et al., 1970; Stores, 1978; Stores and Hart, 1976; Yule, 1980). Their difficulties are particularly marked in reading accuracy and reading comprehension (Black and Hynd, 1995; Williams et al., 1996). To date, no systematic studies have been conducted to investigate the nature or origin of these deficits. There is evidence that complex partial seizures (CPS) are associated with more important reading difficulties than generalized epilepsy, and that children with left temporal lobe discharges have lower reading performances than subjects with right temporal lobe foci (Stores and Hart, 1976). Furthermore, Whatmough and her colleagues (Whatmough et al., 1996) found that adults suffering from temporal lobe epilepsy, the type of epilepsy that is most frequently associated with CPS, manifested signs indicative of phonological dyslexia (e.g. poor nonword reading as compared to word reading).

A growing body of evidence indicates that successful acquisition of spelling-to-sound correspondences relies on good phonological skills. Numerous studies have also emphasized the critical role of phonological awareness and its impairment in developmental dyslexia (Bradley and Bryant, 1983; Fletcher et al., 1994; Rack et al., 1992). Thus, dyslexic individuals differ from normal subjects on aspects of reading that place heavy demands on phonological processing (Fletcher et al., 1994; Temple and Marshall, 1983).

Advances in functional neuroimaging technology have allowed gaining more insight in the cortical regions associated with the cognitive processes involved in reading (Price et al., 1994; Pugh et al., 1996; Rumsey et al., 1997; Shaywitz et al., 1998). Using fMRI, Pugh and his colleagues (Pugh et al., 1996) examined patterns of cerebral activation in young adults with normal reading skills on tasks designed to decompose visual word recognition in its various components. Their results revealed that phonological processing involved predominantly the superior temporal gyrus and the inferior frontal gyrus. Similarly, neuroimaging studies point to structural anomalies in the temporal lobes of subject with developmental dyslexia. For instance, these studies have shown that dyslexic individuals have different anatomical asymmetries in the language regions of the temporal lobes than non-dyslexic subjects. While the *planum temporale* and *pars triangularis* are typically larger in the left hemisphere than the right one in individuals with normal language and reading skills (Geschwind and Levitzky, 1968), a symmetry or a reverse asymmetry have frequently been observed in dyslexic subjects (Duara et al., 1991; Kushch et al., 1993).

The most extensively studied aspect of phonological skills concerns the awareness of the phonological structure of language. Phonological awareness is defined as the ability to manipulate the individual sounds of words independently from their meaning (Blachman, 1994; Foorman et al., 1991). In children, phonological awareness emerges between four and six years of age. Developmental and individual differences in phonological processing competencies appear to be causally related to the rate of acquisition of reading skills (Bradley and Bryant, 1983; Wagner et al., 1994). Evidence from longitudinal studies indicates that the performance on tasks measuring phonological awareness in kindergarten or first-grade is a powerful predictor of reading achievement (Blachman, 1984; Bradley and

Bryant, 1983, 1985; Mann and Ditunno, 1990; Swank and Catts, 1994; Torgesen et al., 1994). Children who fail to develop good metaphonological skills exhibit reading deficits resembling those presented by phonological dyslexics (Adams, 1990; Catts, 1989; Shankweiler and Liberman, 1989; Torgesen, 1993). However, phonological awareness tasks used in various studies tend to differ with regard to the cognitive and linguistic demands they place on a subject. A distinction introduced by Stanovich (Stanovich, 1991) provides a framework for the possible underlying developmental sequence of phonological awareness. According to this author, phonological awareness can be divided in two broad types: 1. *Phonological sensitivity*, which refers to an implicit sensitivity to linguistic units and 2. *Explicit phonological awareness*, which requires more conscious and elaborate phonological knowledge. The passage from phonological sensitivity to phonological awareness possibly reflects a developmental hierarchy of children's sensitivity to language units, children becoming more and more able to strategically and explicitly manipulate phonological units. Hence, sensitivity to intrasyllabic units and rhyme, which develops prior to literacy, is characteristic of the phonological sensitivity stage. It precedes sensitivity to phonemic units, which characterizes the explicit phonological awareness stage, and is thought to develop more as a consequence of learning to read (Perfetti et al., 1987). Indeed, researchers have yet been unable to demonstrate phoneme awareness prior to 5 years of age (Treiman and Zukowski, 1991) but found that pre-literate children, as young as three years, were able to successfully categorize words on the basis of rhyme, alliteration and syllable structure (Bradley and Bryant, 1983; Liberman et al., 1974).

Considering the importance of the temporal lobes in the development of reading, it is reasonable to assume that temporal lobe epilepsy may have an impact on the development of the phonological processes involved in this skill. In order to shed some light on the possible consequences of temporal lobe epilepsy on reading acquisition, we compared the reading skills and phonological awareness abilities of a set of 13-year-old identical twins with superior verbal intelligence, one of whom suffers from temporal lobe epilepsy. This case study is all the more interesting since socio-demographic features and family characteristics are known to be significantly associated with neuropsychological functioning and emotional/behavioral adjustment (Content et al., 1986). Moreover, a significant number of preschool factors that may influence reading acquisition, such as pre-reading activities in kindergarten, parental attitudes, encouragement towards reading or teaching methods, may be better controlled in a study comparing identical twins, thus making it possible to explore the effect of epilepsy on reading acquisition in the relative absence of potentially confounding, intervening variables. Nevertheless, since non-shared environmental variance is also a crucial factor in reading development (Pennington et al., 1992) the twins' performances were also compared to those of a control group composed of normal-reader age mates ($n=10$).

Individuals lacking phonological awareness rely heavily on word recognition when attempting to read. This works well for familiar and regular words but fails with nonwords, which require the breakdown into phonemic units in order to be correctly decoded and pronounced. They also have difficulties on tasks requiring rhyming, syllabic decomposition and syllabic reversion. In the present study, we first compared the two siblings on these functions and further contrasted their performances with those of a matched control group. We predicted that the subject

suffering from temporal lobe epilepsy would do more poorly than her sister and the control subjects on tasks involving phonological processing.

Material and method

Subjects

Experimental participant.

L.B. is a 13-year- and 5-months-old right-handed female, French-speaking adolescent from a professional family. She is attending high school and has never repeated a year. She reports no specific academic difficulties but relates she has to work much harder than her twin sister to obtain the same academic results, especially as far as reading is concerned. Moreover, she has always obtained lower scores in French than in mathematics. Her medical history is uneventful, aside from numerous ear infections. Her developmental milestones, including acquisition of speech, were considered to be within normal limits.

The diagnosis of temporal lobe epilepsy was made at the age of eight years, following a period of multiple focal seizures. EEG recordings, performed at least twice a year since the onset of epileptic seizures, have always shown a left temporal focus. MRI performed at age 9 revealed no particular anomaly except for a discrete right parieto-occipital periventricular leucomalacia, which, according to the attending neurologist, is independent of the left temporal dysfunction. Between the ages of 8 and 12 years, she experienced a great number of seizures (20 or more per month). Since the age of 12 years and 2 months, her epilepsy has been well controlled with a combination of Carbamazepine and Stiripentol. At the time of testing, she had not had a seizure for 14 months.

An assessment by a speech pathologist, carried out one year after seizure onset, revealed normal lexical knowledge and syntax abilities but subnormal written language skills. Furthermore, administration of the Alouette reading test (Lefabvrais, 1967) at the ages of 9.6 and 13.2 years, permitting regular assessment of her reading skills, consistently indicated her reading age to be more than one year behind expectations based on her chronological age. A neuropsychological memory test (batterie d'efficacité mnésique) (Signoret, 1991), administered at the age of 12 years, showed that her memory functions were within normal limits, although her non-verbal memory was slightly superior to her verbal memory.

Identical twin participant.

J.B., twin sister of L.B., is also right-handed. She attends high school and presents no learning difficulties. She has no history of neurological disorder, and her developmental milestones were reportedly normal. There is no family history of learning difficulties. Audiometric evaluation confirmed normal hearing in both sisters.

Control group.

Ten French-speaking age-matched participants (3 girls and 7 boys) were included in this group. All subjects were attending regular school and none had repeated a year. Developmental milestones were documented to be within normal limits. Children reportedly had no family history of learning disabilities and presented no auditory deficits. Reading abilities were in the average range, as assessed by the "Test de lecture silencieuse – épreuve de rapidité" (Institut de Recherche, 2000) (mean performance: 54th percentile).

Informed consent for participation in this study was obtained from the parents of all subjects prior to experimentation.

Preliminary tests

The Wechsler Scale of Intelligence for Children – 3rd edition (WISC-III) (Wechsler, 1991) was administered to all subjects to assess intellectual efficiency. The twins were also submitted to an expressive language task (denomination task: DEN 48 (Légé and Dague, 1976) and a task evaluating receptive language (a French version of the Peabody Picture Vocabulary Test) (Dunn et al., 1993).

Reading Tasks

Alouette reading test.

This French reading test (Lefabvrais, 1967), consisting of a one-page text containing five paragraphs, was administered to both twins in order to determinate their precise reading age. In this task, the subject is asked to read the text as accurately as possible in three minutes. The number of words correctly read within that time is then computed and transformed into a reading age equivalent.

Oral reading of single regular and irregular words.

Reading skills of single words were assessed using a subtest from the BELEC (Mousty et al., 1994), a reading battery for children, composed of 24 regular and 24 irregular words matched for the number of letters and syllables. Words consisted of nouns, verbs and adjectives. They were matched for their frequency of occurrence in the French language.

Oral reading of nonwords.

This test consisted in 40 nonwords of simple syllabic structure (CV) and 14 complex items, that is, items comprising a CV syllable and one of the following complex syllabic structures: simple coda (CVC), branching coda (CVCC), branching onset (CCV), diphthong (CVV). There were no time constraints on this test, and all items remained in view of the subject until the latter had finished reading them. Stimuli were constructed in such manner that spelling-to-sound correspondences would be univocal, since it is possible in French, as opposed to English, to select graphemes for vocalic sounds that have only one possible sound correspondence. For instance, the vowel “i” is always read /i/ and “ou” is always read /u/. However, in the rare cases where two pronunciations were possible, both answers were accepted (i.e., the letter “s” in “fiso”, “dasi”, could be read either /s/ or /z/).

Polysyllabic items, composed of two, three, four and five syllables, were used in order to measure length effect in reading. The present list included no monosyllabic items because such items have been previously shown to produce re-test variability for individual subjects, as well as inconsistent word length effects when compared to disyllabic items (e.g. Gathercole et al., 1994). Moreover, very few CV monosyllabic nonwords can be created in French because almost any combination of consonants (C) and vowels (V) corresponds to a word, while the use of complex monosyllabic units (e.g. CCVC) would inevitably confound syllabic complexity and length effect.

Phonological awareness tasks

Phonological awareness was assessed using nonwords exclusively to limit as much as possible lexical-semantic processing of word recognition. All nonwords followed normal French pronunciation rules and were therefore phonologically possible. Tasks involving both phonological sensitivity (rhyme judgement, auditory discrimination task) and metaphonological awareness (nonword repetition, rhyme production, synthesis, segmentation and inversion) were employed in this experiment. Practice items in which subjects were given feedback on their performance preceded all tasks.

Phonological sensitivity tasks

Rhyme judgment task.

Twenty-four pairs of simple CVCV disyllabic nonwords (12 rhyming and 12 nonrhyming pairs) were presented using a digital audio tape (DAT) system. Subjects were asked whether or not the pair rhymed.

Auditory discrimination task.

Subjects were presented with 40 pairs (20 identical and 20 different) of monosyllabic nonwords using a DAT system. They had to judge whether the two items of a given pair were identical or different.

Metaphonological awareness tasks

Repetition of nonwords.

Stimuli consisted of a list of 54 nonwords. All 40 simple items of the nonword reading task were used, in addition to 14 nonwords of complex syllabic structure (CVCVCC, CVCCV, CVCVC, etc). Items were presented by means of a DAT system. Subjects were instructed to repeat them as precisely as possible.

Rhyme production task.

Thirty nonwords of disyllabic structure (15 CVCV and 15 CVCVC) were verbally presented to the subject. The latter had to generate a nonword that rhymed with the target item.

Phonemic segmentation task.

Subjects listened to a list of 16 monosyllabic nonwords (CV and VC). They were asked to report the sound units of the nonwords in the order they had perceived them.

Phonemic synthesis task (blending).

The stimuli consisted of 12 monosyllabic nonwords composed of CV and VC structures. The subjects' task was to listen as the items were presented one phoneme after another. They then had to respond with the blended version of the nonword.

Phonemic inversion task.

Twelve monosyllabic items (CV and VC) were read to the subject. The latter had to produce the resulting nonword after inversion of the phonemes.

Syllabic inversion task.

Subjects listened to 15 complex disyllabic nonwords of various structures (CVCVCC, CVCCV, CCVCV, CVCVC, CVCVV) that were read to them by the experimenter. Their task consisted in generating the corresponding nonword after inverting the constituent syllables.

Examples of all the tasks described above are provided in Table I.

Table I. Metaphonological awareness tasks

<i>Task</i>	<i>Example</i>	<i>No. of items</i>
Nonword Repetition	Repeat “sidoulomé”	54
Rhyme Production	Produce a nonword rhyming with “noucha”	30
Phonemic Segmentation	Segment “bazo” → “ba” - “zo”	16
Phonemic Synthesis	Blend “zou” - “li” → “zouli”	12
Phonemic Inversion	Invert “af” → “fa”	12
Syllabic Inversion	Invert “volirt” → “lirtvo”	15

Results

Preliminary tests

General intellectual assessment on the WISC-III (see Table II for subtest scores) revealed above-average intelligence in all subjects. The healthy twin, J.B., demonstrated superior intellectual abilities (FSIQ = 145; VIQ = 138; PIQ = 137). The controls obtained an IQ in the high average range (Mean FSIQ = 118 (range: 109-135); mean VIQ = 120 (106-135); mean PIQ = 113 (104-131). The same was true for L.B. (FSIQ = 117), although she showed a significant discrepancy (18 points) between her verbal and nonverbal abilities in favor of the former (VIQ = 123, PIQ =

105). The fact that the control group had the same above-average intellectual efficiency as L.B. is of great value since it may eliminate, or at least reduce, possible intellectual bias.

Both sisters obtained similar verbal comprehension indices (VCI), placing them in the superior range of their age group (VCI = 128 for L.B. and 135 for J.B.). However, they differed with respect to their perceptual organization indices, where L.B. scored in the average range and J.B. in the superior range (POI = 106 for L.B. and 133 for J.B.). Among the WISC-III subtests, "Picture Arrangement" and "Object Assembly" yielded the greatest discrepancy between the two sisters, L.B.'s performance being inferior to that of her sister. Although L.B.'s WISC-III profile would not lead one to predict particular difficulties in reading, it suggests that she may have a problem with sequencing of information. She obtained her best score on the "Similarities" subtest, outperforming her twin sister, thereby demonstrating superior abilities in the areas of verbal concept formation and abstract thinking.

Table II. WISC-III scaled subtest scores.

Subtest	L.B.	J.B.	Controls (Mean scores)
<i>Verbal scale</i>			
Information	14	15	11
Similarities	17	14	14
Arithmetic	10	15	13
Vocabulary	13	17	14
Comprehension	14	17	13
Digit Span	11	16	11
<i>Performance scale</i>			
Picture Completion	12	11	13
Coding	10	14	11
Picture Arrangement	9	16	11
Block design	13	16	15
Object Assembly	10	16	13
Symbol Search	11	-	13

Furthermore, both twins manifested excellent expressive language skills as evidenced by their perfect scores on the denomination task DEN 48. Similarly, their receptive language skills, assessed with the PPVT-R, were at the 99th percentile.

Reading tasks

The percentages of correct responses on the reading tasks are presented in Table III. Results of the Alouette Reading Test showed that the reading age of L.B. was more than two years behind expectations based on her chronological age, whereas that of J.B. was superior to her age (>14.3 years). All of L.B.'s errors were visual paralexias (*pente* → "fente"), two of which were clearly influenced by context. Reading speed was also significantly slower for L.B. (265 words read in 125 seconds or 2.12 words per second) than for her sister (265 words read in 93 seconds or 2.85 words per second). Qualitatively, L.B.'s reading in this task was halting and hesitant.

Both twins read regular words as well as irregular words perfectly (see Table III), whereas control subjects committed on average 1.2% errors on the regular word reading task (range: 0% – 4.2%) and 12.1% errors reading irregular words (range: 4.2% – 54.2%). In the nonword reading task, control subjects and J.B. obtained similar performances, committing less than 15% errors (9.4% for the control group (range : 1.8% – 21.8%) and 12.5% for J.B.). L.B., on the other hand, made 20% errors, all of which were substitution errors (i.e., /e/ being read as /E/ - /y/ being read as /u/ and vice-versa).

Table III. Percentage (%) of correct responses on the reading tasks.

Subject	Reading tasks		
	Regular word	Irregular word	Nonword
L.B.	100	100	80
J.B.	100	100	87.5
Controls	98.8	87.9	90.6
<i>ranges</i>	<i>(95.8 - 100)</i>	<i>(45.8 - 95.8)</i>	<i>(78.2 - 98.2)</i>

Phonological awareness tasks

Results obtained on the phonological awareness tasks are presented in Table IV. All subjects obtained excellent scores on all phonological sensitivity tasks. The twins were perfectly able to judge whether pairs of items rhymed. The control group made on average 2.1% errors on this task. No particular difficulties were observed in the auditory discrimination task (2.5% errors for both twins and 1.5% for control subjects). However, L.B. differed from her sister and her normal-reader age-mates on some of the metaphonological tasks.

On the nonword repetition task, L.B. made more errors (9.2%) than J.B. (1.8%), whereas the controls produced on average 11.8% errors (range: 3.6%– 20%). Most erroneous responses occurred with 4- and 5- syllabic units for all subjects, and once more, all of L.B.s' errors were substitutions.

Table IV. Percentage (%) of correct responses obtained on the phonological sensitivity and metaphonological tasks.

Task	L.B.	J.B.	Controls (Ranges)
<i>Phonological Sensitivity tasks</i>			
Rhyme judgment	100	100	97.9 (87.5 – 100)
Auditory Discrimination	97.5	97.5	98.5 (92.5 – 100)
<i>Metaphonological tasks</i>			
Nonword repetition	90.7	98.1	88.2 (80 – 94.5)
Rhyme production	83.3	96.7	95 (83.3 – 100)
Phonemic Segmentation	93.8	100	93.8 (81.3 – 100)
Phonemic Synthesis	100	100	99.2 (91.7 – 100)
Phonemic Inversion	100	100	95 (41.7 – 100)
Syllabic Inversion	73.3	93.3	84 (76.7 – 100)

In the rhyme production task, which requires a more elaborate metaphonological analysis, J.B. and the control subjects obtained similar results, committing few errors (less than 5%), whereas L.B. produced 16.7% errors, 80% of these involving complex syllabic structures (CVCVC). On tasks requiring the manipulation of syllables and phonemes, all subjects performed well (errors < 5%) on the phonemic blending and inversion tasks. On the phoneme segmenting task, control subjects committed on average 6.2% errors, whereas J.B. obtained a perfect score. L.B.'s error rate was below 6.2%. On the syllabic inversion task, however, L.B. generated 26.6% erroneous responses as compared to a single error made by J.B.. The control subjects produced on average 16% errors.

The Wilcoxon non-parametrical statistical test was used to determine whether the sisters' scores differed significantly. Perfect scores obtained by both subjects on any given task were not included in this analysis. Thus, statistical analyses were performed on the percentages of correct responses obtained on the following tasks: nonword reading (Table III), nonword repetition, auditory discrimination, rhyme production, phonemic segmentation and syllabic inversion (Table IV). The analysis revealed significant differences between the performances of the two sisters ($z = 2.02$, $p < 0.05$) indicating that the performances of L.B. were inferior to those of her twin sister.

Discussion

In accordance with L.B.'s personal complaints and in line with her relative weakness in French compared to mathematics, the results of the present study indicate that L.B. has an important reading deficit, her reading age being more than two years behind expectations based on her chronological age. Her twin sister, on the other hand, demonstrates normal, even superior reading skills. With socio-demographic variables, parental attitudes and school factors largely ruled out with an identical twin as control subject, one of the most plausible explanation for the differences in reading performance between the twin sisters appears to be the presence of a left temporal dysfunction in L.B. Comparison of her performances with those of an age- and IQ-matched control group strongly corroborates this hypothesis.

L.B.'s reading of a short text was characterized by some decoding errors and numerous hesitations, which suggests that she first mentally tries to decode the words in order to get them right before pronouncing them. Reduced reading speed is

is indicative of a subvocal decoding strategy, which is not perfectly functional and suggests insufficient mastery of reading skills. Since speech has reportedly developed normally in L.B., implicit phonological skills should be intact and, as hypothesized, she showed good phonological sensitivity. Comparisons of her performances with those of her twin sister and the controls revealed subtle phonological deficits, which only become apparent on more elaborate phonological awareness tasks. In fact, similar to J.B. and the control subjects, most of L.B.'s performances on the phonological sensitivity tasks showed ceiling effects, which was expected since these abilities develop prior to literacy exposure. In contrast, her poorer performance on more complex phonological awareness tasks suggests that she probably experienced metaphonological difficulties during reading acquisition, whereas her good performances on simpler tasks would suggest that she has been able to partially compensate some of these difficulties through reading. Results of a transversal study conducted in normal French-speaking school-aged children show that most phonological tasks of simple syllabic structure (CV) are mastered at age 8 (Vanasse *et al.*, in press).

Although subtle, L.B.'s phonological deficits seem to have an impact on her reading, which remains effortful, as shown by her 2-year lag on the Alouette reading test. However, despite these difficulties, she demonstrates adequate academic achievement in all scholastic domains (aside from a slight weakness in French). This reflects good use of cognitive resources by this adolescent with above-average intellectual abilities. Since reading is intrinsic to all scholastic activity, academic success requires a greater effort on her part (as opposed to her twin sister).

The most striking phonological deficit shown by L.B. is a problem in rhyme production. While segmentation, synthesis and inversion of phonemes can all be

improved by reading, rhyme production is a phonological skill that remains deficient despite literacy exposure (Lundberg et al., 1988). In fact, in tasks manipulating phonemes, L.B. either obtained perfect scores or performed above 90%, whereas on the rhyme production and syllable inversion tasks her performances fell below 80%. Such discrepancy, not seen in the performances of J.B. and the control subjects, is indicative of an underlying phonological deficit in this epileptic adolescent. This assumption is further corroborated by her relatively low score on the nonword reading task, as opposed to her perfect score obtained in the reading of regular and irregular words, since nonwords can only be correctly read by converting grapheme units into phoneme units. Her substitution errors provide further proof of her difficulties with this task.

The observed differences between the twin sisters in certain cognitive domains, as measured by the WISC-III, could be evoked to explain their difference in reading performance. There is indeed ample evidence that intellectual functions may be compromised in patients with complex partial seizures (Glosser et al., 1997; Hermann et al., 1997; Schoenfeld et al., 1999; Torgesen, 1988), even when the fits are perfectly controlled by medication. Such findings suggest that cognitive abilities mediated by neuronal regions outside the primary epileptogenic region may be secondarily affected. It is, however, important to keep in mind that, although L.B.'s intellectual capacities are not as elevated as her sister's, her performance on the WISC-III nevertheless falls in the above-average range of mental functioning, which would predict successful development of her reading system. Moreover, the two sisters do not differ with regard to their verbal abilities, as evidenced by their high verbal comprehension index (VC) on the WISC-III, a factor that is most closely associated with linguistic competency. Both siblings performed in the superior range on this measure and other measures of verbal skills. Most importantly, L.B.'s

performances on the more elaborate metaphonological tasks were generally inferior to those of the IQ-matched control group. This supports the notion that metaphonological abilities are independent of intellectual efficiency (Torgesen, 1988).

In conclusion, we identified subtle metaphonological deficits in an intelligent adolescent suffering from left temporal lobe epilepsy. The subject exhibited an important reading deficit, placing her more than two years behind expectations with regard to her chronological age. Comparing her with her healthy identical twin sister, who does not present this kind of deficit, was especially interesting. It allowed us to study the impact of temporal lobe dysfunction induced by focal epilepsy on phonological processing and reading ability in the relative absence of demographic and environmental variables, which might confound the results. Moreover, comparisons with an age- and IQ-matched control group enabled us to exclude intellectual abilities as potentially confounding variables. Hence, the impairment in phonological awareness observed in L.B. can be attributed with reasonable confidence to the structural and/or functional anomalies associated with her temporal lobe epilepsy. Although L.B. possesses normal implicit phonological sensitivity, she encounters difficulties on tasks requiring more elaborate conscious phonological knowledge. Given that the left temporal lobe plays a major role in the processing of spoken and written language, we expected at the outset that a left temporal lobe dysfunction would interfere with several aspects of the phonological processes involved in reading. Our results have borne out this hypothesis. While they corroborate the implication of the temporal lobes in reading, they also indicate that children with temporal lobe epilepsy may be at a particular risk of presenting metaphonological awareness deficits, thereby influencing both reading and writing mastery.

Acknowledgments

The authors wish to thank Dr. Olivier Dulac for referring the patient L.B. and for providing all pertinent medical details. We would also like to express our gratitude to L.B. and J.B. and their family who graciously participated in this study. Finally, we are indebted to Dr. Hannelore C. Sauerwein for her thorough revision of the manuscript. This work was supported by grants from the Savoy Foundation for Epilepsy, the Québec Formation de Chercheurs et Aide à la Recherche (FCAR) and the Centre de recherche de l'Hôpital Sainte-Justine pour enfants de Montréal awarded to Dr. Maryse Lassonde.

References

- Adams M.J. (1990) *Beginning to read: Thinking and learning about print*. Cambridge MIT Press.
- Aldenkamp A.P., Alpherts W.C.J., Dekker M.J.A., Overweg J. (1990). Neuropsychological aspects of learning disabilities in epilepsy. *Epilepsia*, 31(Suppl.4): S9 - S20.
- Blachman B.A. (1984). Relationships of rapid naming ability and language analysis skills to kindergarten and first-grade reading achievement. *Journal of Educational Psychology*, 76(4); 610 - 22.
- Blachman B.A. (1994). *Early literacy acquisition: The role of phonological awareness*. In: Wallach GP, Butler KG, editors. *Language learning disabilities in school-age children and adolescents* (pp.253-74). New York: Merrill.
- Black K.C., Hynd, G.W. (1995). Epilepsy in the school aged child: Cognitive-behavioral characteristics and effects on academic performance. *School Psychology Quarterly*, 10(4): 345 - 58.
- Bradley L., Bryant P.E. (1983). Categorizing sounds and learning to read: A causal connection. *Nature*, 30: 319 - 421.
- Bradley L., Bryant P.E. (1985). *Rhyme and reason in reading and spelling*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Catts H.W. (1989). Phonological processing deficits and reading disabilities. In: Kahmi AG, Catts HW, editors. *Reading disabilities: A developmental language perspective* (pp.101-132). Boston: Ally & Bacon.
- Content A., Kolinsky R., Morais J., Bertelson P. (1986). Phonetic segmentation in pre-readers: Effect of corrective information. *Journal of Experimental Psychology*, 42: 47 - 72.
- Duara R., Kushch A., Gross-Glenn K., Barker W.W., Jallad B., Pascal S., Loewenstein D.A., Sheldon J., Rabin M., Levin B. et al. (1991). Neuroanatomic differences between dyslexic and normal readers on magnetic resonance imaging scans. *Archives of Neurology*, 48: 410 - 6.
- Dunn L.M., Thériault-Whalen C.M., Dunn L.M., (1993). *Échelle de vocabulaire en images Peabody, EVIP*. Psycan.

- Fletcher J.M., Shaywitz S.E., Shankweiler D.P., Katz L., Liberman I.Y., Steubing K.K., Shaywitz B.A. (1994). Cognitive profiles of reading disabilities: Comparisons of discrepancy and low achievement definitions. *Journal of Educational Psychology*, 86: 6 - 23.
- Foorman B.R., Francis D.J., Novy D.M., Liberman D. (1991). How letter-sound instruction mediates progress in first-grade reading and spelling. *Journal of Educational Psychology*, 83: 456 - 69.
- Gathercole S.E., Willis C.S., Baddeley A.D., Emslie H. (1994). The children's test of nonword repetition : A test of phonological working memory. *Memory*, 2: 103 - 27
- Geswind N., Levitsky W. (1968). Human brain: Left-right asymmetries in temporal speech region. *Science*, 161: 186 - 7.
- Glosser G., Cole L., French A.A., Saykin A.J., Sperling M.R. (1997). Predictors of intellectual performance in adults with intractable temporal lobe epilepsy. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 3: 252 - 9.
- Hermann B.P., Schoenfeld J., Davies K. (1997). Neuropsychological characteristics of the syndrome of mesial temporal lobe epilepsy. *Archives of Neurology*, 54: 369 - 76.
- Institut de recherche et d'évaluation psychopédagogique (2000). *Test de lecture silencieuse; épreuve de rapidité*. Montréal : I.R.E.P.
- Kushch A., Gross-Glenn K., Jallad B., Lubs H., Rabin M., Feldman E., Duara R. (1993). Temporal lobe surface area measurements on MRI in normal and dyslexic readers. *Neuropsychologia*, 31: 811 - 21.
- Lefabvrais A. (1967). *Test de l'Alouette: Test d'analyse de la lecture et de la dyslexie*. Paris: Éditions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Légé M., Dague S. (1976). *Test de vocabulaire DEN 48*. Paris: Éditions Scientifiques Elsevier.
- Liberman et I.Y., Shankweiler D., Fisher F.W., Carter B. (1974). Explicit syllable and phoneme segmentation in the young child. *Journal of Experimental Psychology*, 18: 201- 12.
- Long C.G., Moore J.R. (1979). Parental expectations for their epileptic children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 20: 299-312.
- Lundberg I., Frost J., Peterson O. (1988). Effects of an extensive program for stimulating phonological awareness in preschool children. *Reading Research Quarterly*, 23(3): 264 - 84.

- Mann V.A., Ditunno P. (1990). Phonological deficiencies: Effective predictors of future reading problems. *Perspect Dyslexia*, 2: 105 - 31.
- Mousty P., Leybaert J., Alegria J., Content A., Morais J. (1994). *Batterie d'évaluation du langage écrit et de ses troubles (BELEC)*. Bruxelles: Laboratoire de psychologie expérimentale, Université libre de Bruxelles.
- Pennington B.F., Gilger J.W., Olson R.K., DeFries J.C. (1992). The external validity of age- versus IQ- discrepancy definitions of reading disability: lessons from a twin study. *Journal of Learning Disabilities*, 25(9): 562 - 73.
- Perfetti C., Beck I., Bell I., Hughes C. (1987). Phonemic knowledge and learning to read are reciprocal: A longitudinal study of first-grade children. *Merill-Palmer Quarterly*, 33: 282 - 319.
- Price C., Wise R.K., Watson J.D.G., Patterson K., Howard D., Frackowiak R.S.J. (1994). Brain activity during reading: The effects of exposure duration and task. *Brain*, 117: 1255 - 69.
- Pugh K.R., Shaywitz B.A., Constable R.T., Shaywitz S.A., Skudlarski P., Fulbright R.K., Brone R.A., Shankweiler D.P., Katz L., Fletcher, H.M., Gore J.C. (1996). Cerebral organization of component processes in reading. *Brain*, 119: 1221 - 38.
- Rack J.P., Snowling M.J., Olson R.K. (1992). The nonword reading deficit in developmental dyslexia: A review. *Reading Research Quarterly*, 27(1): 29 - 53.
- Rumsey J.M., Nace K., Donuhue B., Wise D., Maisog J.M., Anreason P. (1997). A positron emission tomographic study of impaired word recognition and phonological processing in dyslexic men. *Archives of Neurology*, 54: 562 - 73.
- Rutter M., Tizard, J., Whitmore K. (1970). *Education, health and behaviour*. 2nd ed. New York: Robert E. Krieger Publishing Company.
- Schoenfeld J., Seidenberg M., Woodard A., Hecox K., Inglese C., Mack K., Hermann B.P. (1999). Neuropsychological and behavioral status of children with complex partial seizures. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 41: 724 - 31.
- Seidenberg, M. (1989). *Academic achievement and school performance of children with epilepsy*. In: Hermann BP, Seidenberg M, editors. Childhood epilepsies: Neuropsychological, psychosocial and intervention aspects (pp.105-118). London: John Wiley & Sons.
- Seidenberg M., Beck N., Geisser M., Giordani B., Sackellaras J.C., Berent S., Dreifuss F.E., Boll T.J. (1986). Academic achievement of children with epilepsy. *Epilepsia*, 27: 753 - 9.

- Shankweiler D.P., Liberman I.Y. (1989). *Phonology and Reading Disabilities*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Shaywitz S.E., Shaywitz B.A., Pugh K.R., Fulbright R.K., Constable R.T., Mendel W.E., Shankweiler D.P., Lieberman A.M., Skudlarski P., Fletcher J.M., Katz L., Marchione K.E., Lacadie C., Gatenby C., Gore J.C. (1998). Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia. *Proceeding of the Natural Academy of Science USA*, 95: 2636 - 41.
- Signoret J.L. (1991). *Batterie d'efficiency mnésique 144*. Paris: Éditions Scientifiques Elsevier.
- Stanovich K.E. (1991). *Changing models of reading and reading acquisition*. In: Rieben L., Perfetti CA, editors. *Learning to read: Basic research and its implications* (pp.19-31). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Stores G. (1978). School children with epilepsy at risk for learning and behaviour problems. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 20: 502 - 8.
- Stores G, Hart J.A. (1976). Reading skills in children with generalized or focal epilepsy attending ordinary school. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 18: 705 - 16.
- Swank L.K., Catts H.W. (1994). Phonological awareness and written word decoding. *Language, Speech and Hearing Services in Schools*, 25: 9 - 14.
- Temple C.M., Marshall J.C. (1983). A case study of developmental dyslexia. *British Journal of Psychology*, 74: 517 - 33.
- Torgesen J.K. (1988). Why is IQ relevant to the definition of learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 22: 484 - 6.
- Torgesen J.K. (1993). *Variations on theory in learning disabilities*. In: Lyon GR, Gray DB, Kavanagh JF, Krasnegor NA, editors. *Better understanding of learning disabilities: New views from research and their implications for education and public policies* (pp.153-170). Baltimore: Brooks.
- Torgesen J.K., Wagner R.K., Rachotte C.A. (1994). Longitudinal studies of phonological processing and reading. *Journal of Learning Disabilities*, 77: 276 - 86.
- Treiman R., Zukowski A. (1991). *Levels of phonological awareness*. In: Brady SA, Shankweiler DP, editors. *Phonological processes in literacy: A tribute to Isabelle Y.* (pp.67-83). Liberman. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Wagner R.K., Torgesen J.K., Rashotte C.A. (1994). The development of reading-related phonological abilities: New evidence of bi-directional causality from a latent variable longitudinal study. *Developmental Psychology*, 30: 73 - 87.
- Wechsler D, (1991). *Wechsler Intelligence Scale for Children – 3rd ed.* New York: The Psychological Corporation.
- Whatmough C., Arguin M., De Guise E., Belleville S., Lassonde M. (1996). *Nonwords reading capacities in callosal agenesis after brain callosotomy and in epilepsy* (Abstract). 26th International Meeting of Psychology, Montreal, Canada.
- Williams J., Sharp G., Bates S., Griebel M., Lange B., Spence G.T., Thomas P. (1996). Academic achievement and behavioral ratings in children with absence and complex partial epilepsy. *Education and Treatment of Children*, 19(2): 143 - 52.
- Yule W. (1980). *Educational achievement*. In: Kulig BM, Meinardi H, G. Stores G, editors. *Epilepsy and behaviour* (pp.162-168). Lisse, NL: Swets & Zeitlinger.

Expérience 3

Impact of epilepsy on reading acquisition in children

Vanasse, C.M., Béland, R., Courcy, A., Carmant, L., Lassonde, M. (sous presse). Impact of epilepsy on reading acquisition in children. *Epilepsy and Behavior*.

Abstract

Children with epilepsy more frequently exhibit reading difficulties than their similar-aged peers. However, no systematic studies have yet been conducted to investigate whether these difficulties are related to the occurrence of the epilepsy *per se*. As functional neuroimaging studies reveal significant temporal and frontal lobes implications in the phonological treatment of reading (Pugh *et al.*, 1996), a focal epileptic activity affecting either of these cerebral regions could hamper the development of the phonological treatment involved in reading. According to this assumption, we hypothesized that children suffering from focal epilepsy, either frontal or temporal, would present more important reading difficulties than their peers with generalized epilepsy.

This study investigates phonological awareness and reading abilities of three groups of children, aged 7 to 12 years, presenting temporal lobe epilepsy (TLE, $n=10$), frontal lobe epilepsy (FLE, $n=10$) or generalized absence seizures (ABS, $n=10$). Their performance was compared to that of neurologically-intact children matched to the epileptic groups on the basis of age and school grade.

Results showed that reading abilities of all epileptic children were almost 2 years behind expectations, regardless of epilepsy type. Surprisingly, children with TLE did not differ from their controls on any of the metaphonological tasks administered. In contrast, children with FLE exhibited a significant phonological

treatment deficit. Children with ABS also underachieved on certain tasks. Taken together, these results indicate that frontal lobe and to a lesser extent, generalized epilepsy, hinder the phonological treatment implicated in reading while temporal lobe epilepsy rather seems to interfere with other aspects of the reading system.

Introduction

Children who suffer from epilepsy frequently exhibit academic difficulties (Mitchell, Chavez, Lee & Guzman, 1991) particularly marked in arithmetic, spelling and reading (Austin, Huberty, Huster & Dunn, 1999; Black & Hynd, 1995). The reasons behind this apparent failure to reach levels of attainment that should be within the intellectual capacities of these children have yet to be elucidated. Although school absenteeism and possible detrimental side-effects of anticonvulsive medication may account for some of these academic difficulties (Pulliainen & Jokelainen, 1994), an alternate possibility would be an underlying cognitive deficit directly related to the occurrence of the epilepsy *per se*, such as a core deficit in reading acquisition. This hypothesis is corroborated by findings showing that, in children, focal epilepsy is associated with more important specific reading deficits as opposed to generalized epilepsy (Stores & Hart, 1976).

Developmental studies suggest that two distinct procedures are implicated in the development of the reading system (Frith, 1985). When learning to read, a child initially builds up a sight vocabulary of familiar words where mappings are formed between visual patterns of written words and their pronunciations. Words with irregular sound-to-spelling correspondences can only be read via this strategy, known as the lexical procedure. However, in order to be able to decode the many new words encountered when learning to read, the child must develop an alternative

reading strategy, based on the component letters of the word and the corresponding letter sounds. This phonological strategy operates at a sub-word level, first by segmenting any unfamiliar written word into its individual letters or letter segments (graphemes) then by blending together the corresponding speech sounds (phonemes).

Many normally developing children experience difficulties in acquiring the phonological strategy. These difficulties are thought to arise from a deficit in the awareness of the phonological structure of words (Crowder & Wagner, 1991; Brady & Shankweiler, 1991), which would in turn prevent learning of letter-to-sound correspondences needed for phonological reading. Recent studies of brain function have highlighted abnormalities in the neural mechanisms underlying phonological treatment in individuals with phonological dyslexia. Adults and children with dyslexia show decreased activity (relative to controls) in the left temporal cortex as well as a significant over-activation of the left inferior frontal region during phonological processing (Shaywitz, Shaywitz, Pugh, Mencl, Fulbright, Skudlarski *et al.*, 2002; Shaywitz, Shaywitz, Pugh, Fulbright, Constable, Mencl *et al.*, 1998). Such abnormal neural responses have been observed in a number of studies, using different methodologies, such as PET or fMRI techniques, and across multiple tasks (e.g. rhyming, nonword *vs* word reading, explicit and implicit reading) (for a review, see Eckert, 2004). These findings strongly suggest an implication of both temporal and frontal lobes in the phonological processing of reading.

Although it is well established that children suffering from epilepsy frequently exhibit reading difficulties (Clement & Wallace, 1990; Mitchell & al., 1991; Black & Hynd, 1995; Williams *et al.*, 1996), to date only scarce systematic studies investigating the nature of these deficits have been conducted. It seems likely that children suffering from focal epilepsy, either frontal or temporal, should experience difficulties developing phonological reading skills. Findings from a recent study conducted on two highly intelligent 13-year-old identical twins, one of whom is affected by cryptogenic temporal lobe epilepsy, corroborate this hypothesis (Vanasse *et al.*, 2003). Indeed, despite above average mental functioning and normal linguistic abilities, the epileptic adolescent exhibited specific deficits in elaborate metaphonological abilities and reading level in contrast to her twin sister and healthy control participants. Children affected by generalized epilepsy could also present phonological deficits since this type of epilepsy is recorded over the whole brain and therefore affects both frontal and temporal lobes. Phonological difficulties experienced by these children should however be less pronounced than that of children with frontal or temporal lobe epilepsy, as this generalized epileptic activity is diffuse and does not *specifically* affect regions involved in phonological treatment.

Thus, a primary aim of the present study was to further investigate the reading deficits presented by epileptic children. A second aim was to study possible specific consequences according to epilepsy type on metaphonological abilities and reading acquisition.

Methods

Participants

The experimental group consisted of 30 children (16 boys and 14 girls), of normal intelligence, aged between 7 and 12 years (mean age : 10:1 years), with a diagnosis of cryptogenic epilepsy, seen through an outpatient neurology clinic at the Sainte-Justine Hospital for children in Montreal. Seizure types consisted of focal seizures, either temporal or frontal, and of absence seizure disorder. The diagnosis and type of epilepsy were established by pediatric neurologists according to the International League Against Epilepsy (ILAE) classification and were based on seizure descriptions and EEG abnormalities. Abnormal EEG recordings (obtained within 6 months preceding inclusion in the present study) were confirmatory for specific seizure type in all cases. None of the children presented any MRI abnormalities other than some localized brain atrophy (hippocampal atrophy, see Table I). Three subgroups of 10 participants each were formed according to seizure type: temporal lobe epilepsy (TLE), frontal lobe epilepsy (FLE) and childhood absence epilepsy (ABS) groups. Table I provides descriptive data regarding epilepsy characteristics for each epileptic subgroup.

Table I. Demographic and clinical seizure characteristics.

Group	Gender ratio (m/f)	Chronolo- gical age (mths)	Atrophic MRI finding (%)	Side of EEG focus (L/R)	Interictal discharges (yes/no)	Age at onset (mths)	Duration of epil. (mths)	Seizure frequency ¹ (past year)	Seizure control ² (yes/no)	Anti-epilepsy meds Monoth. Polyth. ³
TLE (SD)	7/3	124.3 (23.15)	30%	8/2	4/6	43.9 (38.91)	72.4 (34.9)	11.4 (15.46)	7/3	4 6
FLE (SD)	4/6	121.4 (24.40)	10%	8/2	5/5	47.3 (30.72)	76.8 (42.88)	57 (156.01)	5/5	7 3
ABS (SD)	5/5	121.6 (20.29)	0%	-	7/3	62.1 (27.09)	42.5 (31.77)	65 (157.27)	6/4	5 5

¹ Number of observed seizures according to parent's estimation

² Presence or absence of epileptic seizures in the 6 months preceding evaluation

³ Maximum of two anti-epileptic drugs

To be included in the present study, children had to be treated with no more than two anti-epileptic drugs (AED), as it has been demonstrated that anti-epilepsy medication may alter cognitive function (Aldenkamp, 2001). Since certain AEDs (topiramate and phenobarbitone for example) have more deleterious cognitive effects than others (Gallassi, Morreale, Di Sarro, Marra, Lugaesi & Baruzzi, 1992; Glauser, 1999), information regarding AEDs prescribed to each participant was gathered. Table II summarizes this information, indicating the number of children receiving any given AED, alone or in combination with another drug. None of the children included in the present study received phenobarbitone. One child (from the FLE group), however, was given topiramate (in combination with valproic acid). His performances will therefore be thoroughly studied and deviant results from the mean, if any, will be reported in the appropriate sections.

Table II. Number of children receiving specific AEDs in mono- or polytherapy.

Specific AED	Monotherapy (/16)	Polytherapy (/14)
Carbamazepine	5	6
Valproate	5	7
Lamotrigine	3	5
Clobazam	2	5
Vigabatrin	1	1
Acetazolamide	0	1
Ethosuximide	0	2
Topiramate	0	1

Three control groups were matched to the epileptic groups according to age and school grade. They consisted of 10 pupils each, recruited from urban schools in the Montreal area.

Children in both the experimental and control groups were French-speaking and had no documented history of language problems. None of them had ever repeated a school year and all were attending regular school. Some children from the FLE group ($n=4$), however, received weekly educational support in school.

Visual acuity was within normal limits for all children as determined by the Rosenbaum pocket visual screening test (Rosenbaum, 1976). Prior to experimentation, all subjects underwent audiometric testing with standard pure tones to measure detection thresholds for frequencies between 125 to 8000 Hz. All showed normal thresholds for both ears and exhibited essentially symmetrical audiograms displaying no more than a 10 dB SPL difference across the two ears at any given frequency. Normal auditory discrimination capacities were also required, as assessed by a task where the child had to determine whether pairs of monosyllabic stimuli presented orally were identical or not. In this task, no individual performance fell under 95%.

Informed consent for participation in this study was obtained from parents of all participants prior to experimentation. This study received Ethics approval from the Sainte-Justine Hospital and the Université de Montréal.

Materials and procedure

Children were submitted to a selection of standardized and experimental tasks designed to assess cognitive function, reading and metaphonological abilities. Tests

were administered to each child in the course of a single session lasting about 4 hours. Recorded stimuli were played on a Digital Audio Tape (DAT) system and presented at a comfortable listening level. Several practice items were performed before each task; children were given feedback on these practice trials. Participant's responses were recorded on tape as well as transcribed by the experimenter. Accuracy was coded online and further checked with the recorded tape by two independent judges. Divergent coding responses were verified until inter-judge agreement was obtained.

Preliminary tasks

Preliminary tasks were administered in order to assess whether epileptic and control children differed in terms of intellectual capacities, expressive language skills and attention, as these three factors may have an impact on phonological processing abilities (Lippé & Lassonde, 2004; Hernandez *et al.*, 2003; Brown & Hulme, 1996).

Peabody Picture Vocabulary Test (PPVT). Assessment of cognitive function was done using a French version of the PPVT (Dunn, Thériault-Whalen, Dunn, 1993), as this standardized test is widely used as a screening measure for intelligence and achievement (Campbell, Bell & Keith, 2001; Childers, Durham & Wilson, 1994; Altepeter, 1985).

Denomination task (DEN 48). Expressive language skills were assessed using the DEN 48, a French standardized denomination task (Légé & Dague, 1976). In this task, the child is asked to name each of the 48 images as precisely as possible.

WISC-III Digit span subtest. This task, especially tapping attention and working memory, is divided in two parts. Children first need to repeat sequences of numbers presented orally by the experimenter in the same order they heard them; in the second part, they are asked to repeat the number sequences backward. Children's performances were scored according to their chronological age (WISC-III scaled scores).

Reading Tasks.

Regular and Irregular reading tasks. Reading skills of isolated words were assessed using a subtest from a Belgian reading battery, the BELEC (Mousty, Leybaert, Content, Alegria, Morais 1994). This task is composed of 24 regular and 24 irregular words (nouns, verbs and adjectives) matched for the number of letters and syllables, as well as for frequency of occurrence in French.

Nonword reading task. A nonword reading task, composed of 40 simple items of various syllabic lengths (2, 3, 4 or 5 syllables), was elaborated to assess efficiency of the phonological reading procedure. There were no time constraints in this task and all items remained in view of the child until she/he had finished reading them. Stimuli were constructed in such manner that spelling-to-sound correspondences

would be univocal. However, in the rare cases where two pronunciations were possible, both answers were accepted (i.e. the letter "s" in "dasi" could be read either /s/ or /z/).

Alouette reading test. In light of the results obtained in children with epilepsy on the isolated word reading tasks, a standardized reading test (Lefabvrais, 1968) was *post hoc* administered to all epileptic children in order to further specify their reading-age deficit. In this task, consisting of a one-page text of 5 paragraphs, the child is asked to read the text as accurately as possible in 3 minutes. The number of words correctly read within that time is then computed and transformed into a reading age equivalent.

Metaphonological awareness tasks

In order to assess metaphonological competency, children were administered experimental phonological awareness tasks developed by Courcy and his colleagues (2000). Since description of the experimental metaphonological tasks administered in this study can be found elsewhere (Vanasse *et al.*, 2003), only a brief description will be given here.

To limit semantic processing in phonological manipulation as much as possible, the metaphonological tasks exclusively involved nonwords; all stimuli also followed pronunciation rules governing French language and were therefore phonologically possible. For purposes of comparisons of unit size, tasks were

elaborated using both syllabic and phonemic units. Rhyme recognition and rhyme judgment tasks were also included as measures of metaphonological abilities.

- * *Nonword repetition task.* Stimuli consisted of a list of 40 nonwords presented by means of a DAT system. Children were instructed to repeat them as precisely as possible.
- * *Rhyme Judgement Task.* Using a DAT system, 24 pairs of simple disyllabic nonwords (12 rhyming and 12 non-rhyming items) were presented to the child who was then asked to determine if items rhymed.
- * *Rhyme Production Task.* Participants were asked to produce nonwords that rhymed with each of the 30 target nonwords.
- * *Syllabic and Phonemic Synthesis Tasks.* Children listened to either syllables or phonemes presented at a rate of one per second; they were then asked to pronounce the nonword that resulted when those were blended. Twenty pairs of monosyllabic stimuli composed the syllabic task whereas 12 pairs of phonemes composed the phonemic synthesis task.
- * *Syllabic and Phonemic Segmentation Tasks.* Children were asked to decompose a nonword orally presented by the experimenter, either in syllables or in phonemes. The syllabic task consisted of 20 simple disyllabic nonwords while the phoneme task included 16 monosyllabic stimuli.
- * *Syllabic and Phonemic Inversion Tasks.* Participants were asked to produce the resulting nonword after inverting the order of units (syllables or phonemes)

composing the presented stimulus. Eighteen disyllabic stimuli composed the syllabic test while 12 items were included in the phonemic task.

Results

Preliminary tests

Epileptic groups

One-way analyses of variance (ANOVAS) conducted on clinical variables (see Table I) between the three subgroups of epileptic children yielded no significant difference in terms of age ($[F(2,27) = 0.052, p > 0.05]$), age at seizure onset ($[F(2,27) = 0.880, p > 0.05]$), seizure frequency ($[F(2,27) = 2.341, p > 0.05]$), nor duration of epilepsy ($[F(2,27) = 2.586, p > 0.05]$). No difference emerged between the number of children receiving monotherapy versus those under polytherapy ($\chi^2 = 1.875, p > 0.05$).

Although children included in the two focal epilepsy subgroups (TLE and FLE) mostly presented left-sided EEG focus, a few children did show a right epileptic focus (see Table I). Statistical analysis involving mean performances of children showing either left or right foci could not be conducted because of insufficient group sizes. These left/right mean performances are nevertheless presented in Table III (preliminary tasks), Table IV (metaphonological tasks) as well as Table VIII (reading task) for both FLE and TLE subgroups. For means of information, mean performances obtained by children 1) on monotherapy versus those under polytherapy, 2) seizure free versus those who are not, within each

epileptic subgroup (TLE, FLE and ABS) are also presented in these Tables III, IV and VIII.

Epileptic children versus controls

Possible differential consequences of epilepsy type on reading and metaphonological abilities were analyzed by means of a nonparametric statistic (Mann-Whitney *U* test), since results frequently did not follow normal distribution. Analyses opposing subgroups of children with epilepsy to their respective matched-control peers revealed no significant difference on the PPVT ($p > 0.5$). Mean standard scores on this task varied between 103 and 115 (see Table III), indicating that cognitive verbal abilities were well within normal limits for both the epileptic and control subgroups. Moreover, mental age equivalents were comparable for all subgroups (ranging from 10:3 years to 12:4 years) and none of these mental age equivalents was below age expectations (mean chronological age varied from 10:1 years to 10:4 years).

Table III. Results obtained by epileptic children and their controls on the preliminary tasks.

Groups	PPVT		DEN 48	Digit span
	Standard score	Age equivalent (yrs)	(%)	Standard score
<i>Epileptic groups</i>				
TLE	106.7	11:2	74.8	8.6
(left/right)	(108.1/101)	(11:3/10:6)	(76.8/72.1)	(8.7/8)
(mono/poly)	(105.8/103.2)	(10:10/10:8)	(74.9/74.3)	(8.4/8.7)
(sz ctl: yes/no)	(103.6/107)	(10:8/11)	(75/74.3)	(9/8.1)
FLE	103.2	10:3	72.5	6.4*
(left/right)	(101.3/104.3)	(10:1/10:9)	(71.1/78.2)	(6.4/6.5)
(mono/poly)	(105.6/101)	(10:11/10:1)	(74.5/71.3)	(6.6/6)
(sz ctl: yes/no)	(103/103.6)	(10:2/10:3)	(75.7/72.8)	(7.1/6)
ABS	111.8	11:9	78.1	8.4
(mono/poly)	(110.9/113)	(11:4/12:1)	(77.9/79.3)	(9/8.2)
(sz ctl: yes/no)	(111/112.6)	(11:8/11:11)	(76/79.8)	(8.6/8.3)
<i>Control groups</i>				
TLE ctls	115.5	12:4	79.4	9.8
FLE ctls	109.3	11:5	73.1	10.9
ABS ctls	107.7	11:3	75.9	10.6

* $p < 0.05$

Similarly, the analyses yielded no differences between the epileptic subgroups and their controls on the DEN 48 denomination task ($p > 0.1$), thereby confirming adequate expressive language skills in all children. A significant difference, however, emerged on the WISC-III Digit span subtest between children with FLE and their healthy peers ($U = 4.5$, $p < 0.05$). Indeed, Table III shows that, whereas mean standard score digit span fell within the normal range for control children, children with FLE exhibited a lower than average score of 6.4. Children with ABS or TLE did not, however, differ from their controls on this task, with mean standard scores varying within normal limits between 8.4 and 10.9.

Reading tasks

As Figure 1 clearly shows, significant differences emerged between performances of the epileptic children (composed of all children with epilepsy, regardless of epilepsy type) and those of the controls ($n=30$), on the regular word ($U = 274.00$, $p < 0.05$), the irregular word ($U = 276.00$, $p < 0.05$) as well as on the nonword reading tasks ($U = 284.50.00$, $p < 0.05$), even when only nonwords that were comparable in length (2-3 syllables) to the words were taken into account ($U = 227.00$, $p < 0.05$; see Figure 1)

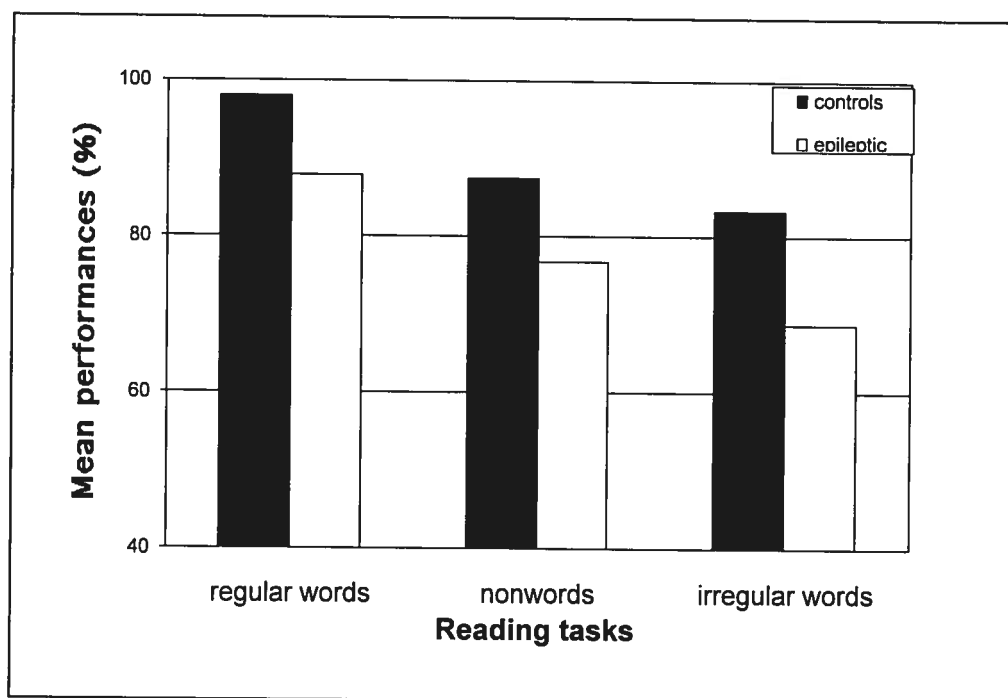


Figure 1. Mean performances (%) on regular words, L2-L3 nonwords and irregular words reading tasks for epileptic and control children.

The percentages of correct responses obtained by each epileptic and control subgroups on all three isolated word reading tasks are further reported in Table IV. Statistical analyses conducted on the mean percentage of correct responses indicated

that children with FLE significantly underachieved on both the nonword ($U = 20.5$, $p < 0.05$) and the irregular word reading tasks ($U = 21.5$, $p < 0.05$; see Table IV) with respect to their controls.

Table IV. Mean percentage (%) of correct responses on isolated word reading tasks for each epileptic subgroup and their controls.

Groups	Reading tasks			
	Regular words	Irregular words	Nonwords	L2-L3 nonwords
<i>Epileptic groups</i>				
TLE	89.74	75.18	83.50	86.5
(left/right)	(91.4/83.3)	(76.8/68.8)	(85.9/73.8)	(87.7/84.3)
(mono/poly)	(86.5/90.3)	(75.7/74.2)	(85/80.2)	(85.6/81.3)
(sz ctl: yes/no)	(89.4/89.9)	(71/78.4)	(83.5/83.8)	(84.1/82.9)
FLE	81.33	59.17 *	66.16 *	72.50 *
(left/right)	(79.8/86.7)	(60.1/55.7)	(65.5/68.8)	(69.3/85.4)
(mono/poly)	(80/82.7)	(52.4/60.8)	(67.2/60.8)	(69.8/61.6)
(sz ctl:yes/no)	(84.6/73.1)	(60.9/51.9)	(63.8/68.1)	(74.2/71.7)
ABS	92.50 *	71.67	80.33	86.00
(mono/poly)	(94/91.4)	(69.4/71.9)	(78.9/82.2)	(88.4/83.5)
(sz ctl: yes/no)	(92.3/93.1)	(75.8/68.6)	(80.5/80)	(84.6/87.2)
<i>Control groups</i>				
TLE ctls	96.25	82.10	85.00	85.00
FLE ctls	98.32	82.91	90.00	97.00
ABS ctls	99.17	84.17	87.75	87.75

* $p < 0.05$

In fact, not only was there an important difference of almost 24% between children with FLE and the controls' mean performances on the irregular word reading task, but a gap of at least 12.5% between their performance and that of other epileptic children was also observed. Similarly, while the other groups' performances varied between 80.33% and 90% on the nonword reading task, children with FLE obtained a mean performance of 66.16%. It is noteworthy that even shorter

nonwords (e.g. 2 and 3 syllables) were more arduously read by these children than by their healthy peers ($U = 18.0$, $p < 0.05$). A significant difference also emerged between children with ABS and their controls on the regular word reading task ($U = 23.5$, $p < 0.05$). Contrary to our expectancies, children with TLE did not differ from their controls on any of the reading tasks administered.

Table V shows the percentage of children being more than one academic year behind school grade level within each subgroup on regular and irregular word reading tasks, as estimated using validated norms from the BELEC (Mousty *et al.*, 1994).

Table V. Percentage (%) of children being more than 1 year behind school grade levels on regular and irregular word reading tasks as estimated using validated norms.

Groups	Reading tasks	
	Regular words	Irregular words
<i>Epileptic groups</i>		
TLE	40%	40%
FLE	60%	80%
ABS	40%	50%
<i>Control groups</i>		
TLE ctls	< 10%	< 10%
FLE ctls	0%	10%
ABS ctls	0%	0%

These results clearly demonstrate that children with epilepsy exhibit reading difficulties, as at least 40% of them were more than a year behind expectations based on school grade level, as opposed to less than 10% of control children. Of these, children with FLE appeared especially vulnerable compared to their controls: indeed,

60% of them could not read regular words correctly and 80% failed to read irregular words adequately. Considering these results, a formal reading test (the Alouette reading test developed by Lefabvrais, 1968) was administered to all children with epilepsy. Mean performances on this task show that all subgroups of epileptic children exhibited an important reading deficit, being almost 2 years behind expectations with respect to chronological age (see Table VI).

Table VI. Mean reading age deficit (months) for each epileptic group on the Alouette reading test.

Groups	Mean reading age deficit in months (SD)
TLE	23.9 (17.38)
FLE	25.3 (20.50)
ABS	25.7 (14.28)

Phonological awareness tasks

Mean group performances obtained on eight of the nine metaphonological tasks administered are presented in Table VII. Table VIII shows the results obtained by the epileptic subgroups and their controls on the remaining metaphonological rhyme judgment task. Indeed, since this latter task required a "yes/no" response, statistical analyses were performed on two indices (*Pr* and *Br*) developed by Snodgrass and Corwin (1988), rather than on the percentage of correct responses used in the other metaphonological tasks. The *Pr* index is a measure of discrimination performance (a large *Pr* indicates that stimuli are better discriminated) and *Br* constitutes an index of response bias, varying from 0 to 1. For this latter

measure, values lower than 0.5 reflect a tendency to judge stimuli as being different (conservative tendency, answering « no » even when the correct answer is « yes »).

On the contrary, values greater than 0.5 indicate a tendency to judge stimuli as being similar even though they are not (liberal tendency).

Table VII. Percentage (%) of correct responses obtained on metaphonological tasks by epileptic and control children.

Groups	Metaphonological tasks							
	Nonword repetition	Rhyme production	Blending		Segmentation		Inversion	
			Syllabic	Phonemic	Syllabic	Phonemic	Syllabic	Phonemic
<i>Epileptic groups</i>								
TLE	79.5	89	87.8	90.8	93.3	86.3	84.6	85.8
(left/right)	(82.2/68.8)	(91.3/80)	(89.8/80)	(91.6/87.5)	(92.8/95)	(91.5/65.7)	(85.6/80.6)	(91.6/62.5)
(mono/poly)	(82.7/77.7)	(88.5/90.2)	(83.4/89.9)	(89.4/91)	(94.1/92)	(83.5/89.4)	(87.2/80.1)	(85/85.9)
(sz ctl: yes/no)	(78.3/80)	(90.5/87.8)	(93.5/84.3)	(88.6/93.3)	(89/94.4)	(85/87.7)	(81.5/86.2)	(85.4/86)
FLE	75.8	75.7	91.5	74.4 *	93.5	79.2	82.8 *	69.2 *
(left/right)	(75.3/77.5)	(73.4/85)	(91.3/92.5)	(72.2/83.4)	(93.1/95)	(77.1/87.6)	(80.6/91.7)	(63.6/91.7)
(mono/poly)	(79.8/72.4)	(77.1/69.9)	(93/90.2)	(78.5/70.2)	(94/93)	(79.6/79)	(81.1/82.9)	(73.6/68.8)
(sz ctl: yes/no)	(77.7/73.6)	(78.1/72.6)	(90.4/92)	72.5/77.8)	(91/95.1)	(82.7/75.3)	(88.2/79.8)	(67.6/71.4)
ABS	83.8	90.3	88.5	92.9	94.5	81.1 *	83.9 *	83.1
(mono/poly)	(88.5/80.3)	(87.4/92)	(88.1/89.9)	(95.6/90.1)	(94.5/94)	(88.6/78.3)	(80.9/84.2)	(87.4/80.1)
(sz ctl: yes/no)	(83.4/83)	(90.8/90.2)	(90.5/86.5)	(91.3/94)	(97.8/90)	(80.3/81.8)	(85.4/88.1)	(80.3/85.2)
<i>Control groups</i>								
TLE ctls	83.25	92.35	95	97.36	94	91.28	86.6	91.66
FLE ctls	81.75	85.99	96	98.24	96.5	86.27	95.27	93.32
ABS ctls	83.75	84.01	96	96.57	94	91.89	98.24	93.87

* $p < 0.05$

Statistical analyses failed to reveal differences between epileptic subgroups and their controls on tasks of nonword repetition, rhyme production, syllabic blending and syllabic segmentation ($p > 0.05$, see Table VII). Children with FLE, however, performed worse than their controls on three metaphonological tasks, namely phonemic blending ($U = 20.0$, $p < 0.05$), phonemic inversion ($U = 20.0$, $p < 0.05$) and syllabic inversion tasks ($U = 22.0$, $p < 0.05$). Table VII shows that children with FLE offered particularly poor performances on both the phonemic blending and the phonemic inversion tasks as compared to all other children (control as well as epileptic children). On the other hand, results obtained on the syllabic inversion task were more homogenous between children suffering from epilepsy (performances varying from 82% to 85%), with TLE children offering the best performance. Children with ABS nevertheless also significantly underachieved on this syllabic inversion task with respect to their controls ($U = 8.0$, $p < 0.05$). Analyses further revealed that children with ABS were less performing than their controls on the phonemic segmentation task ($U = 20.0$, $p < 0.05$). Here again, analyses yielded no differences between children with TLE and their controls on any of the metaphonological tasks.

Table VIII. Mean performances, Pr and Br indices obtained by epileptic and control children on the rhyme judgment task.

Groups	Mean performance (%)	Indices	
		Pr	Br
<i>Epileptic groups</i>			
TLE	92.9	0.81	0.38
FLE	88.7	0.81 *	0.25
ABS	93.8	0.81 *	0.39
<i>Control groups</i>			
TLE ctls	94.1	0.87	0.39
FLE ctls	96.2	0.91	0.45
ABS ctls	94.6	0.90	0.36

* $p < 0.05$

As can be seen from Table VIII, the rhyme judgment task was easily achieved by both epileptic and control children, with the lowest mean performance being 88.7%. As indicated above, since this task was a "yes/no" task, statistical analyses were performed on two indices (*Pr* and *Br*) developed by Snodgrass and Corwin (1988), rather than on mean performances. Non-parametrical comparisons opposing each epileptic subgroup to its control indicated that, in spite of overall good performances on this task, both children with FLE and ABS were significantly less competent than their controls in discriminating whether pairs of stimuli rhymed or not (*Pr* index: FLE, $U = 23.0$; ABS, $U = 25.0$, $p < 0.05$). Again, children with TLE did not differ from their controls on this task.

Finally, a word must be said concerning side of EEG focus and seizure control. As stated above, the number of children in each of these categories was too

limited to allow for statistical analyses. The general profile emerging from mean performances obtained by children in these categories however suggests that seizure control has no significant impact on reading abilities in these children. Children who are not (yet) seizure free indeed seem to perform as well as their peers who are. No clear difference in performances is observable between children with a left EEG focus and those with a right one, although the number of participants showing a right side EEG focus is so small ($n=4$), one can hardly presume anything at all.

Discussion

This study was designed to investigate the nature and severity of the reading difficulties presented by children suffering from epilepsy. Our findings revealed the presence of a rather important reading deficit in all epileptic children, regardless of epilepsy type. Reading abilities for all children with epilepsy indeed appear almost two years behind expectations with respect to chronological age. Hence, the occurrence of an epileptic activity, even though non-lesional, seems sufficient to induce a significant deficit in reading. Moreover, both the frontal lobe epilepsy and absence seizures group show deficits on tasks aimed at evaluating metaphonological processes.

Studies interested in reading disorders, either acquired or developmental in nature, have shown that a deficit in phonological processing is a hallmark of poor readers and during the last thirty years, such phonological deficit has been considered

an essential - if not the core - disorder in dyslexia (Hulme & Snowling, 1992; Wagner & Torgesen, 1987). Since neuroimaging studies suggest temporal and frontal lobe implications in the phonological treatment of reading (Shaywitz *et al.*, 2002; Price, 1998), it was postulated that children suffering from focal epilepsy of temporal and/or frontal origins would present significant deficits in phonological reading. Our results indeed showed that children with FLE exhibited marked difficulties reading nonwords. Their mean performance on this task was in fact under 60% in contrast to that of other children (epileptic and controls), which varied from 71% to 84%. Surprisingly, no statistical difference was observed between children with TLE and their healthy peers on this task, nor for this matter, on any of the other reading tasks administered. Hence, frontal lobe epilepsy seems to significantly hamper the phonological treatment of reading, whereas this procedure appears rather unaffected by the presence of a temporal lobe epileptic activity.

A growing body of evidence indicates that failure to learn letter-to-sound correspondences needed for phonological reading results from a deficit in the awareness of the phonological structure of words (metaphonological awareness) (Swan & Goswami, 1997). Results obtained on various metaphonological tasks, using both syllabic and phonemic linguistic units, reveal that children with FLE indeed exhibited significant difficulties in the awareness of, and in the ability to manipulate, individual sounds of language. More specifically, they underachieved on more elaborate or cognitively demanding metaphonological tasks (ex: inversion tasks) and on tasks involving the manipulation of phonemes, a linguistic unit thought to be

mastered later in the course of phonological development, after formal literacy exposure. In contrast, children suffering from temporal lobe epilepsy once again did not differ from their controls on any of these metaphonological tasks.

Moreover, children with FLE were the only ones to exhibit significant difficulties reading words with irregular sound-to-spelling correspondences when compared to their controls, which suggests that frontal lobe epilepsy might also affect developmental mastery of the lexical reading strategy. However, although lexical and phonological reading procedures are functionally distinct, various authors have suggested that their development could, in fact, be intimately linked (Perfetti, 1992). According to this theory, the constitution of a well specified mental orthographic representation lexicon would greatly depend on the efficacy of the phonological transcoding procedure. There would be, in the course of reading development, an increase in the number and in the quality of lexical representations and these would be acquired interactively: the more efficient the grapho-phonological decoding rules, the more important the number of acquired lexical representations; the more numerous the acquired lexical representations, the more efficient the decoding rules. Hence, new and rather unfamiliar items for which the child would still need to acquire lexical representations would depend more on phonology. In line with this assumption, the observed lexical reading deficit presented by children with FLE could thus originate - at least partly - from inefficient phonological processing skills.

Taken together, these findings suggest that an epileptic dysfunction originating from the frontal lobe hinders the last and/or more elaborated acquisitions involved in phonological development, which in turn affects the development of the phonological procedure involved in reading. Such results are in accordance with previous findings of neuroimaging studies of dyslexic individuals revealing anomalies of activation in the frontal lobes (Pugh *et al.*, 1996).

Frontal lobe epilepsy is, however, also frequently associated with significant attention problems and working memory limits that could exacerbate these phonological difficulties (Hernandez *et al.*, 2003). Brown & Hulme (1996) have indeed underlined the important role of working memory in the acquisition of phonological representations in long-term memory. Working memory deficits could hinder the encoding process of phonological representations, thereby affecting quality and quantity of these stored representations. Children with FLE included in the present study did in fact exhibit significant limits on the digit span task, a measure tapping attention and working memory. Since most of the metaphonological tasks require a discrete amount of mental manipulation, it is plausible that a working memory deficit contributed to FLE children's poorer performance on some of these tasks. However, as abnormal patterns of frontal activation have been found in dyslexic individual during reading tasks (Shaywitz *et al.*, 1998), it is possible that frontal lobe epilepsy both interferes with the development of the phonological treatment of reading and engenders working memory limits that may exacerbate phonological difficulties.

However, cerebral activation abnormalities shown by dyslexic individuals during phonological processing tasks are not circumscribed to the frontal areas as they have also been observed in the left temporal lobe, (Shaywitz *et al.*, 1998). But then, how could one explain the absence of any phonological deficit in children suffering from temporal lobe epilepsy included in our study? Results of a functional MRI study by Billingsley and colleagues (2001) with adults suffering from temporal lobe epilepsy may shed some light on this apparent contradiction. These authors noted a significant increased activation in left frontal areas during phonological processing, which they interpret as reflecting a possible functional cerebral reorganization of language representation in these adults with TLE. It is therefore possible that children with TLE develop efficient compensatory phonological treatment strategies through the activation of the frontal circuits, which are impaired in children with FLE. Findings from a previous study conducted with two highly intelligent identical twins, one of whom suffered from temporal lobe epilepsy, however suggests that there are limits to such compensatory strategies (Vanasse *et al.*, 2003). Indeed, as participants of this prior study were older (age: 13:5 years), stimuli of a more complex structure (and hence harder to manipulate) were included. Despite evident metaphonological competencies, the adolescent with TLE exhibited significant phonological deficits on more elaborate tasks, especially on those including complex stimuli.

Our results finally show that children experiencing absence seizures exhibit significant difficulties in reading regular words. This finding is somewhat counterintuitive in light of recent results showing that the ability to read regular words is normally mastered early in the course of reading acquisition, well before nonwords and irregular words (Vanasse *et al.*, in press). One must however acknowledge that children with ABS did offer the best performance of all epileptic groups on this task, a performance that, at first glance, would tend to reduce the potential impact of such a reading deficit. Nevertheless, it is important to note that children with ABS also present unequivocal metaphonological deficits. Hence, the observed difficulty of children with ABS on the isolated regular word reading task, combined with their metaphonological deficits, suggests these children may also exhibit selective difficulties in reading, although maybe not at the phonological level specifically. As, by definition, generalized epilepsy involves the entire cerebrum, it could be that absence seizures interfere with normal functioning of developing associative areas (including the frontal lobes), thereby hindering acquisition of the reading system in a more global way. The presence of an interictal epileptic activity, which is frequently reported in individuals with absences, has also been associated with the occurrence of slight, generally transient, cognitive impairments (Metz-Lutz, de Saint-Martin, Massa & Hirsch, 2001) that may affect academic performances of children with absences (Kasteleijn-Nolst Trenité, Siebelink, Berends, van Strien & Meinardi, 1990). As most of the children with ABS (7/10) included in this study did show infra clinical discharges on EEG recordings, one cannot rule out the possibility that this interictal activity may have had an impact on their metaphonological and

reading performances. Poblano and his colleagues (2001) have indeed found that infra clinical discharges, monitored by means of video-EEG recording, induced subtle - nonetheless very real - anomalies of reading (ex: stopping, hesitations, etc.) in children suffering from absences. It would therefore be interesting to perform EEG recordings while children with absences perform metaphonological and reading tasks, in order to further explore the impact on everyday academic functioning of such infra clinical discharges.

Possible detrimental side-effects of anti-epileptic medication could also account for some of the reading difficulties presented by the children with epilepsy included in the present study (Aldenkamp, 2001). Specific impact on cognition is however difficult to quantify in the present study, as participants were treated with several different drugs, given either in monotherapy or in polytherapy. In an attempt to reduce the risk of cognitive impact as much as possible (Drane & Meador, 2002), children receiving more than two AEDs and those treated with phenobarbitone, a drug known to produce significant cognitive impairment (Gallassi *et al.*, 1992), were excluded from this study.

In the present study, more than 50% of children (16/30) were on monotherapy, and of those, 53.3% (9/16) were treated either with carbamazepine or with valproate, two AEDs thoroughly studied over the years. It has been shown that these two drugs have a fairly similar and rather modest impact upon cognition (Meador, 2001), mostly on the speed of psychomotor performances (Aldenkamp,

2001) and, but to a much lesser extent, on attention and memory (Drane & Meador, 2002). The remaining children on monotherapy (7/16) were treated with newer AEDs, introduced over the last decade (eg lamotrigine, clobazam, vigabatrin or topiramate). Although less studied than established AEDs, initial results suggest that, with the exception of topiramate, these newer drugs are generally associated with scarce CNS-related side effects (ex: ataxia, sleepiness, dizziness and nausea) and induce minor deleterious cognitive effects, similar to those induced by older AEDs (Brunbech & Sabers, 2002; Dodrill *et al.*, 1999). Contrary to other new generation AEDs, a review of the literature indicates that patients receiving topiramate (TPM) has more cognitive side effects with specific impairments in executive functions and language (Lee *et al.*, 2003; Glauser, 1999). In this study, only one participant (from the FLE group) was treated with topiramate. This child's performances on the various tests were specifically reviewed and no specific language deficits emerged. Furthermore, his results fell well within FLE group average performances on both metaphonological and reading tasks. These findings hence appears to minimize the potential impact of this AED on the observed phonological and reading difficulties exhibited by the FLE group.

Impairment of the speed of psychomotor performances is one of the most – if not *the* most – frequent cognitive side-effect associated with AEDs (Drane & Meador, 2002). As none of the experimental tasks involved writing and since only one of them had to be performed within a given time-frame, it seems very unlikely that psychomotor slowing had a significant impact on the performances of the

children included in the present study. Although one can not completely rule out the possibility that AEDs may contribute to the reading deficits presented by these children, the current results nevertheless confirm and even extend previous findings in the literature indicating a high incidence of reading difficulties among children with epilepsy (Williams *et al.*, 1996). Frontal lobe epilepsy is associated with the most important phonological treatment deficit, whereas surprisingly, temporal lobe epilepsy seems to have relatively scarce consequences on such phonological processing of reading, possibly because of a functional cerebral reorganization of language representation in the presence of a temporal dysfunction. Finally, it is noteworthy that children with FLE were not the only ones to exhibit metaphonological deficits as children experiencing absence seizures also presented certain difficulties in the manipulation of linguistic units. Functional brain imaging techniques, such as fMRI or positron emission tomography (PET), could help to further explore the correspondences between these reading deficits and the focal cerebral abnormalities involved, although such research studies remain difficult to perform in the pediatric population because of ethical considerations (Hertz-Pannier & Chiron, 2001). It would indeed be very interesting to study and compare patterns of cerebral activation obtained by these children (TLE *vs* FLE *vs* ABS *vs* controls) on reading tasks designed to decompose visual word recognition in its various components, similar to those used by Shaywitz and his colleagues (1998) with dyslexic adults. Information gathered from these studies would undoubtedly contribute to the comprehension of the impact of epilepsy on the acquisition of reading.

In conclusion, these findings stress the importance of early intervention to prevent reading disabilities for children with epilepsy, especially when involving the frontal lobes or the entire cerebrum. Our study further stresses the importance of close monitoring of these children as they frequently exhibit attention as well as working memory deficits (especially children with FLE) that may exacerbate the specific cognitive dysfunctions linked to their epileptic condition.

Acknowledgments

This work was supported by grants from the Savoy Foundation for Epilepsy (CV and LC), the Québec Formation de Chercheurs et Aide à la Recherche (FCAR, ML and RB) and the Centre de recherche de l'hôpital Sainte-Justine pour enfants de Montréal (ML, RB, CV and LC). The authors wish to express their gratitude to the children and their family who graciously participated in this study.

References

- Aldenkamp, A.P. (2001). Cognitive side effects of antiepileptic drugs. In: *Neuropsychology of childhood epilepsy* (pp. 257-268). I. Jambaqué, M. Lassonde, O. Dulac (eds). New York: Plenum Publishers.
- Altepeter, T. (1985). Use of the PPVT-R for intellectual screening with a preschool pediatric sample. *Journal of Pediatric Psychology*, 10(2):195-198.
- Austin, J.K., Huberty, T.J., Huster, G.A., & Dunn, D.W. (1999). Does academic achievement in children with epilepsy change over time? *Developmental Medicine and Child Neurology*, 41(7):473-479.
- Billingsley, R.L., McAndrews, M.P., Crawley, A.P., Mikulis, D.J. (2001). Functional MRI of phonological and semantic processing in temporal lobe epilepsy. *Brain*, 124(6):1218-1227.
- Black, K.C., & Hynd, G.W. (1995). Epilepsy in the school-aged child: Cognitive-behavioral characteristics and effects on academic performance. *School Psychology Quarterly*, 10(4):345-358.
- Brady, S., & Shankweiler, D. (1991). *Phonological processes in literacy: A tribute to Isabelle Y. Liberman*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Brown, G.D.A. & Hulme, C. (1996). Nonword repetition, STM, and word age-of-acquisition: A computational model. In: S.E. Gathercole (Ed), *Models of Short-term Memory* (pp.129-148). Bristol, UK: Erlbaum.
- Brunbech, L. & Sabers, A. (2002). Effect of antiepileptic drugs on cognitive function in individuals with epilepsy: A comparative review of newer versus older agents. *Drugs*, 62(4):593-604.
- Campbell J.M., Bell S.K. & Keith, L.K. (2001). Concurrent validity of the Peabody Picture Vocabulary Test-Third Edition as an intelligence and achievement screener for low SES African American children. *Assessment*, 8(1):85-94.
- Childers, J.S., Durham, T.W. & Wilson, S. (1994). Relation of performance on the Kaufman Brief Intelligence Test with the Peabody Picture Vocabulary Test--Revised among preschool children. *Perception and Motor Skills*, 79(3 Pt 1):1195-1199.
- Clement & Wallace (1990). A survey of adolescents with epilepsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 32(10):849-57.

- Crowder, R.G., & Wagner, R.K. (1991). *The psychology of reading : An introduction* (2nd ed. rev.). New York : Oxford University Press.
- Courcy, A, Béland, R. & Pitchford, N. (2000). Phonological awareness in French-speaking children at risk for reading disabilities. *Brain and Cognition*, 43(1-3):124-130.
- Dodrill, C.B., Arnett, J.L., Hayes, A.G., Garofalo, E.A., Greeley, C.A., Greiner, M.J. & Pierce, M.W. (1999). Cognitive abilities and adjustment with gabapentin: Results of a multisite study. *Epilepsy Research*, 35(2):109-21.
- Drane, D.L. & Meador, K.J. (2002). Cognitive and behavioural effects of antiepileptic drugs. *Epilepsy and Behavior*, 3(5):S49-S53.
- Dunn LM, Thériault-Whalen CM, Dunn LM, editors (1993). *Échelle de vocabulaire en images Peabody*, EVIP. Psycan.
- Eckert, M. (2004). Neuroanatomical markers for dyslexia: A review of dyslexia structural imaging studies. *Neuroscientist*, 10(4):362-371.
- Frith, U. (1985). Beneath the surface of developmental dyslexia. In: K. Patterson, J. Marshall, & M. Colheart (eds.), *Surface dyslexia : Neuropsychological and cognitive studies of phonological reading* (pp.301-330). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gallassi, R., Morreale, A., Di Sarro, R , Marra, M., Lugaresi, E. & Baruzzi, A. (1992). Cognitive effects of antiepileptic drug discontinuation. *Epilepsia* (Suppl 6):41-44.
- Glauser, T.A. (1999) Topiramate. *Epilepsia*, 40 (Suppl 5):S71-S80.
- Hernandez, M.T., Sauerwein, H.C., Jambaque, I., de Guise, E., Lussier, F., Lortie, A., Dulac, O. & Lassonde, M. (2003). Attention, memory and behavioral adjustment in children with frontal lobe epilepsy. *Epilepsy and Behavior*, 4(5):522-36.
- Hertz-Pannier, L., & Chiron, C. (2001). Conventional and functional brain imaging in childhood epilepsy (pp.13-26). In: *Neuropsychology of childhood epilepsy*. I. Jambaqué, M. Lassonde, O. Dulac (eds). New York: Plenum Publishers.
- Hulme, C & Snowling, M. (1992). Phonological deficits in dyslexia: a "sound" reappraisal of the verbal deficit hypothesis. In: N. Singh & I. Beale (eds), *Current perspectives in learning disabilities* (pp. 270-301). New York: Springer.
- Kasteleijn-Nolst Trenité, D.G.A., Siebelink, B.M., Berends, S.G.C., van Strien, J.W. & Meinardi, H. (1990) Lateralized effects of subclinical epileptiform discharges on scholastic performance in children. *Epilepsia*, 31:740-746.

- Lee, S., sziklas, V., andermann, A., Farnham, S., Risse, G., Gustafson, M., Gates, J., Penovich, P., Al-Asmi, A., Dubeau, . & Jones-Gotman, M. (2003). The effects of adjunctive Topiramate on cognitive function in patients with epilepsy. *Epilepsia*, 44(3):339-347.
- Lefabvrais A, editor. *Test de l'Alouette: Test d'analyse de la lecture et de la dyslexie*. Paris: Éditions du Centre de Psychologie Appliquée, 1967.
- Légé M, Dague S, editors (1976). *Test de vocabulaire DEN 48*. Paris: Éditions Scientifiques Elsevier.
- Lippe S., & Lassonde M. (2004). *Revue Neurologique*, 160:144-53. Profil neuropsychologique des épilepsies partielles réfractaires.
- Meador, K.J. (2001). Cognitive effects of epilepsy and of antiepileptic medications (pp. 1215-1225). In: Wyllie, E (ed). *The treatment of epilepsy: principles and practice*, 3rd ed. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Metz-Lutz, M.N., de Saint-Martin, A., Massa, R. & Hirsch, E. (2001). Transitory cognitive disorders and learning impairment (pp159-169). In : *Neuropsychology of childhood epilepsy*. I.Jambaqué, M. Lassonde, O.Dulac (eds). New York: Plenum Publishers.
- Mitchell, W.G., Chavez, J.M., Lee, H., & Guzman, B.L. (1991). Academic underachievement in children with epilepsy. *Journal of Child Neurology*, 6:65-72.
- Mousty P, Leybaert J, Alegria J, Content A, Morais J. (1994). *Batterie d'évaluation du langage écrit et de ses troubles (BELEC)*. Bruxelles: Laboratoire de psychologie expérimentale, Université libre de Bruxelles, 1994.
- Perfetti, C. (1992). The representation problem in reading acquisition. In: P.B. Gough, L.C. Ehri & T.R. Treiman (Eds), *Reading Acquisition* (pp.145-174). London: Lawrence Erlbaum.
- Poblano, A., Ibarra, J., Muniz, A. & Garza, S. (2001). Absence seizures effects on reading revealed by video-electroencephalography. *Rev Invest Clin.*, 53(2):136-140.
- Price, C.J. (1998). The functional anatomy of word comprehension and production. *Trends in Cognitive Science*, 2:281-288.
- Pulliaainen V, & Jokelainen M. (1994). Effects of phenytoin and carbamazepine on cognitive functions in newly diagnosed epileptic patients. *Acta Neurol Scand.*, 89(2):81-86.

- Pugh, K.R., Shaywitz, B.A., Shaywitz, S.E., Constable, R.T., Skudlarski, P., Fulbright, R.K. et al. (1996). Cerebral organization of component processes in reading. *Brain*, 119:1221-1238.
- Rosenbaum, J.G. (1976). Rosenbaum pocket vision screening test. Cleveland, Oh.
- Shaywitz, B.A., Shaywitz, S.E., Pugh, K.R., Mencl, W.E., Fulbright, R.K., Skudslarski, P., Constable R.T., Marchione, K.E., Fletcher, J.M., Lyon, G.R. & Gore, J. C. (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biol Psychiatry*, 52(2):101-110.
- Shaywitz, S.E., Shaywitz, B.A., Pugh, K.R., Fulbright, R.K., Constable, R.T., Mencl, W.E., Shankfeiler, D.P., Liberman, A.M., Skudlarski, P., Fletcher, J.M., Katz, L., Marchione, K.E., Lacadie, C., Gatenby, C., & Gore, J.C. (1998). Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 95:2636-2641.
- Snodgrass, J. G., & Corwin, J. (1988). Pragmatics of measuring recognition memory: Applications to dementia and amnesia. *Journal of Psychology, General*, 1:34-50.
- Stores, G. & Hart, J.A. (1976). Reading skills in children with generalized or focal epilepsy attending ordinary school. *Developmental Medecine and Child Neurology*, 18:705-716.
- Swan, D. & Goswami, U. (1997). Phonological awareness deficits in developmental dyslexia and the phonological representations hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology*, 66:18-41.
- Vanasse, C.M., Bégin-Bertrand, L., Courcy, A., Lassonde, M. & Béland, R. (in press). Development of reading and metaphonological abilities: A study of French-speaking children aged, 5 to 12 years. *Journal of Multilingual Communication Disorders*.
- Vanasse, C.M., Béland, R., Jambaqué, I., Lavoie, K., Lassonde, M. (2003). Impact of temporal lobe epilepsy on phonological processing and reading : A case study of identical twins. *Neurocase*, 9(6):515-522.
- Williams, J., Sharp, G., Bates, S., Griebel, M., Lange, B., Spence, G.T., Thomas, P. (1996). Academic achievement and behavioral ratings in children with absence and complex partial epilepsy. *Education and treatment of children*, 19(2): 143-152.
- Wagner, R.K., Torgesen, J.K. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin*, 101:192-212.

CHAPITRE 3

DISCUSSION GÉNÉRALE

Les recherches menées au cours des dernières décennies révèlent que les enfants souffrant d'épilepsie éprouvent davantage de difficultés académiques que leurs pairs (Aldenkamp & al., 1990). Ces difficultés seraient particulièrement marquées en lecture et varieraient selon le type de crises (généralisée ou focale) et en fonction de la localisation du foyer épileptogène (Rutter, Tizard & Whitmore, 1970; Stores & Hart, 1976; Williams & al., 1996; Black & Hynd, 1995; Gourley, 1990; Seidenberg & al., 1986). Toutefois, si l'incidence des difficultés scolaires chez l'enfant souffrant d'épilepsie est aujourd'hui bien documentée, les éléments sous-tendant cette vulnérabilité n'ont toujours pas été clairement identifiés. Bien que l'absentéisme scolaire ou de possibles effets délétères de la médication anti-épileptique puissent être évoqués pour rendre compte de ces difficultés, il est possible que celles-ci soient attribuables à un déficit cognitif sous-jacent, secondaire à la condition épileptique d'un enfant.

Il devenait dès lors important de vérifier si une perturbation des processus de lecture engendrée par la condition épileptique elle-même, pouvait expliquer de telles difficultés scolaires. Cette hypothèse paraissait d'autant plus plausible que l'acquisition de la lecture, tout comme celle des habiletés mathématiques, est un processus requérant un apprentissage explicite, à l'inverse de la plupart des processus cognitifs se développant au cours de l'enfance qui eux, sont principalement tributaires de la maturation cérébrale. En effet, laissé à lui-même, l'enfant n'apprendra pas à lire. Or, encore plus que les mathématiques, la lecture agit comme

tremplin pour l'acquisition d'une multitude de connaissances et constitue par le fait même, un outil essentiel à la réussite académique et à l'intégration sociale.

Le présent travail de recherche a donc été développé pour tenter de mieux comprendre l'impact de l'épilepsie focale, d'origine frontale ou temporale, sur l'acquisition des processus de lecture et sur le développement des habiletés métaphonologiques de l'enfant. Compte tenu du nombre restreint d'études développementales menées chez l'enfant francophone, et afin de mieux comprendre le développement normal, l'acquisition des habiletés de conscience phonologique et du système de lecture a d'abord été étudiée chez l'enfant francophone sain, d'âge scolaire.

Pour des raisons de clarté, la présente discussion générale sera divisée en deux grandes parties, chacune comportant un bref rappel méthodologique et une présentation des principaux résultats. Les données concernant le développement de la métaphonologie et de la lecture chez l'enfant normal seront d'abord rapportées, suivies d'une présentation des résultats obtenus chez les enfants souffrant d'épilepsie. Une discussion générale englobant ces deux sections sera finalement proposée, où seront avancées quelques perspectives expérimentales et cliniques.

MÉTAPHONOLOGIE & LECTURE : DÉVELOPPEMENT NORMAL

La lecture est un processus qui permet au lecteur d'accéder à la compréhension de mots et de textes écrits à partir de la reconnaissance d'un code graphique spécifique. Toutefois, pour être en mesure d'apprendre les correspondances entre lettres et sons qui sont directement impliquées dans la transcription orthographique, l'individu pré-lecteur doit auparavant développer la conscience et l'habileté à manipuler les constituants sonores de sa langue (Blachman, 1984). Ce sont les habiletés de conscience phonologique ou métaphonologie.

Chez un enfant dont le développement langagier est normal, les habiletés métaphonologiques se développent progressivement entre l'âge de 4 et 6 ans (Stanovich, 1991) ; certaines émergeraient spontanément chez l'enfant pré-lecteur, tandis que d'autres se développeraient plutôt conséquemment à l'apprentissage du code alphabétique (Morais, 1994). Une relation réciproque semble en effet exister entre métaphonologie et lecture (Perfetti & al., 1987). Toutefois, la nature de cette relation demeure encore peu définie, particulièrement en français, en raison du nombre restreint d'études développementales réalisées.

L'apport original de cette première étude réside dans le fait qu'il s'agit de l'une des rares études transversales s'intéressant au développement métaphonologique menée en français. Celui-ci a de plus été étudié en tenant compte des unités

linguistiques impliquées dans les manipulations phonologiques. Le type même de manipulation métaphonologique impliqué (ex: segmentation, fusion, etc.) a également été pris en considération, puisque certaines manipulations seraient plus exigeantes que d'autres sur le plan cognitif.

Rappel méthodologique

Les enfants participant à cette étude ont été divisés en sept groupes selon leur niveau académique, de la maternelle à la 6^e année inclusivement. Dans un premier temps, huit épreuves expérimentales, élaborées par Courcy et Béland (2000), ont été administrées afin d'étudier le développement séquentiel des compétences métaphonologiques. Ces tâches incluaient des manipulations de segmentation, de fusion et d'inversion, tant au niveau syllabique que phonémique. La maîtrise de la rime a quant à elle été étudiée à la fois dans une tâche de production et dans une tâche de jugement. Les habiletés de lecture ont ensuite été évaluées à l'aide de tâches de lecture de mots isolés, impliquant des mots d'orthographe régulière et irrégulière ainsi que des non-mots.

Principaux résultats obtenus

Développement de la compétence métaphonologique

Les résultats de la première étude démontrent que la compétence métaphonologique est globalement maîtrisée vers l'âge de 8 ans (2^e année). L'analyse des performances reflète en effet clairement une progression développementale entre la maternelle et la 2^e année, alors que les enfants plus âgés obtiennent de bons résultats à l'ensemble des tâches métaphonologiques.

Plus spécifiquement, les présents résultats révèlent que les enfants pré-lecteurs (maternelle) n'éprouvent aucune difficulté particulière à réaliser les tâches métaphonologiques impliquant des unités syllabiques, réussissant relativement bien même celles requérant des manipulations plus élaborées, telle l'épreuve d'inversion syllabique (taux de réussite moyen de plus de 80%). Les manipulations phonémiques s'avèrent en revanche particulièrement ardues pour ces enfants de maternelle, pré-lecteurs: la performance moyenne la plus élevée à ces tâches se situe autour de trente-cinq pour cent (35%). On remarque cependant une amélioration significative des performances à l'ensemble des épreuves entre les groupes de maternelle, de 1^{ère} et de 2^e années. Celle-ci est particulièrement importante entre les enfants pré-lecteurs (maternelle) et apprenti-lecteurs (1^{ère} année), reflétant un effet facilitateur de

l'apprentissage de la lecture sur le développement de la compétence métaphonologique.

Ainsi, tout comme chez l'enfant anglophone (Goswami & Bryant, 1990; Treiman & Zukowski, 1991), il appert que la syllabe constitue pour l'enfant francophone une unité linguistique plus rapidement et plus facilement accessible que le phonème. Selon *l'hypothèse segmentale* élaborée par Fowler (1991), cette séquence développementale « syllabe-phonème » serait le reflet de changements au niveau de la représentation phonologique sous-jacente des items lexicaux. L'enfant apprendrait d'abord graduellement à isoler les mots à l'intérieur d'une phrase, ensuite les syllabes et enfin les phonèmes constituant les mots. Un tel processus s'effectuerait en passant par un niveau intermédiaire entre la syllabe et le phonème, soit la subdivision de la syllabe en deux sous-unités : l'attaque et la rime. À ce stade, l'enfant apprendrait à diviser par exemple la syllabe « char » en une attaque : « ch », et une rime : « ar » (Bruck, Genesee & Caravolas, 1997; Gillam & Van Gleek, 1996).

De nombreux auteurs s'intéressant au développement métaphonologique chez l'enfant anglophone accordent une importance particulière à ce constituant « attaque-rime ». Ces auteurs attribuent à la maîtrise de la rime une valeur prédictive significative de la réussite future en lecture (Cataldo & Ellis, 1990; Bryant, MacLean, Bradley, & Crossland, 1990; Ellis & Large, 1987; Bradley & Bryant, 1983). Goswami & Bryant (1990) vont même jusqu'à suggérer l'existence d'une relation causale entre la capacité d'un enfant pré-lecteur à manipuler la rime et le développement de la

conscience de l'unité phonémique. Selon eux, la maîtrise du constituant « attaque-rime » constituerait une étape non seulement importante mais nécessaire, d'un développement séquentiel de la compétence métaphonologique permettant l'apprentissage de la lecture. La conscience de la rime serait ainsi acquise par l'enfant après la syllabe, mais avant que ne soit maîtrisée l'unité phonémique (Treiman & Zukowski, 1991). Ce lien unissant rime et lecture chez l'enfant anglophone demeure cependant un sujet de controverse. Ainsi, à l'inverse de la position adoptée par Goswami & Bryant (1990), Carlisle (1990) prétend que la capacité à manipuler la rime ne constitue tout simplement pas une habileté de conscience phonologique. La plupart des auteurs situent toutefois la conscience de la rime sur un continuum de compétence métaphonologique entre la syllabe et le phonème, mais sans par ailleurs établir de relation spécifique entre la rime et le développement de la conscience phonémique (Muter, Hulme, Snowling & Taylor, 1998; Hoen, Lundberg, Stanovich & Bjaalid, 1995). Les résultats de certaines recherches ont d'ailleurs révélé que la capacité à manipuler la rime s'améliorait peu ou prou lorsqu'on soumettait les enfants à un programme d'entraînement métaphonologique spécifique, contrairement à la conscience phonémique qui elle, s'améliorait de façon significative (Van Kleeck, Gillam & McFadden, 1998; Lundberg, Frost & Peterson, 1988).

Afin de mieux comprendre la nature de la relation existant entre rime et lecture dans la langue française, la conscience de la rime a été évaluée, dans la présente recherche, à l'aide de deux tâches; une première où l'enfant devait déterminer si deux non-mots rimaient ou non et une seconde, plus exigeante, où il

devait produire un non-mot rimant avec un stimulus donné. Les résultats révèlent que si l'épreuve de jugement est bien réussie dès la maternelle, ce qui témoigne d'une sensibilité implicite à la rime, la tâche de production est, par contre, nettement moins facilement réalisée. En effet, nonobstant une progression développementale évidente, cette dernière tâche n'est pas parfaitement réussie même par les enfants plus âgés (6^e année). Ainsi, en dépit d'une sensibilité qui paraît acquise avant l'exposition à la lecture, une conscience phonologique plus élaborée de la rime ne serait pas encore entièrement développée, même après plusieurs années d'exposition à la lecture.

En somme, les présents résultats indiquent que chez l'enfant francophone, la conscience de la syllabe est déjà acquise en maternelle, avant même qu'il ne soit soumis à l'apprentissage de la lecture. À l'inverse, la conscience phonémique apparaît peu développée à cet âge. Toutefois, l'amélioration significative observée aux tâches de manipulation phonémique entre la maternelle et la 1^{ère} année indique que l'exposition à la lecture favorise le développement des compétences métaphonologiques impliquant l'unité phonémique.

Par contre, la lecture semble n'avoir que très peu d'impact sur la maîtrise de la rime puisque, même après plusieurs années de scolarisation, bon nombre d'enfants éprouvent encore des difficultés à manipuler explicitement cette unité linguistique. Ainsi, chez l'enfant francophone, la maîtrise de la rime ne semble pas reliée à l'apprentissage de la lecture. Elle se développerait (ou non) plutôt indépendamment

de la lecture et s'améliorerait progressivement pendant plusieurs années. Quoi qu'il en soit, la production de rimes constitue une activité très prisée par les milieux éducatifs, que les jeunes enfants apprécient, et même si on ne peut conclure qu'elle améliore la conscience phonologique, une telle activité ne peut pas nuire au développement métaphonologique puisqu'elle oblige l'enfant à porter attention à la structure des sons.

L'exposition à la lecture favorise donc le développement de certaines habiletés métaphonologiques; mais qu'en est-il du développement du système de lecture ? Est-il - et si oui, comment? - facilité par la compétence métaphonologique ?

Développement du système de lecture

Les résultats de la présente étude montrent que les mots d'orthographe régulière sont lus facilement, même par les plus jeunes lecteurs (2^e année). En contrepartie, les non-mots et les mots irréguliers apparaissent nettement plus difficiles pour ces enfants qui ne possèdent que peu d'expérience en lecture. En effet, malgré une structure syllabique et un nombre de syllabes identiques à ceux des mots réguliers, les non-mots sont significativement moins bien lus que les mots réguliers par le groupe de 2^e année. Cette différence s'estompe toutefois chez les enfants de 3^e année, ce qui suggère que les règles de correspondance graphème-phonème nécessaires au décodage des non-mots sont maintenant maîtrisées; elles se développeraient ainsi principalement au cours des deux premières années d'exposition à la lecture.

Les performances à l'épreuve de lecture de mots d'orthographe irrégulière sont par ailleurs généralement plus faibles; néanmoins, ici encore, la compétence en lecture augmente de façon importante, mais cette fois à partir de la 4^e année. La maîtrise plus tardive de la capacité à lire des mots irréguliers corrobore l'hypothèse d'un lien entre le développement des deux stratégies de lecture (phonologique et lexicale) (Perfetti, 1992; Ehri, 1992). Selon cette hypothèse, la constitution d'un lexique de représentations orthographiques bien spécifiées dépendrait en grande partie de la procédure de transcodage phonologique. Il y aurait, au cours du développement de la lecture, un accroissement du nombre de représentations lexicales de même qu'une évolution de leur qualité. Ces représentations seraient acquises de façon interactive : plus les règles de décodage seraient efficaces, plus le nombre d'entrées acquises serait important et, plus ces entrées seraient nombreuses, plus efficaces seraient les règles de décodage. Dans cet ordre d'idée, des mots nouveaux et peu familiers pour lesquels l'enfant doit encore acquérir une représentation orthographique seraient grandement dépendants de la phonologie. Une analyse qualitative des erreurs commises en lecture de mots irréguliers dans la présente étude appuie cette hypothèse. La plupart de celles-ci constituent en effet des erreurs dites de régularisation, le /ch/ de « écho » étant par exemple lu comme /ch/ de « chat », ce qui indique que les enfants appliquent une stratégie phonologique inadéquate plutôt que d'avoir recours à leur lexique orthographique pour lire les mots irréguliers.

Métaphonologie & lecture : une relation réciproque

Outre une meilleure connaissance du développement de la métaphonologie et du système de lecture, les données obtenues permettent d'approfondir la nature de la relation réciproque unissant compétence métaphonologique et lecture chez l'enfant francophone. Il appert que l'enfant pré-lecteur (maternelle) possède déjà certaines compétences métaphonologiques lui permettant de manipuler les unités syllabiques et qu'il développe graduellement, au cours des deux premières années d'exposition à la lecture, la maîtrise du phonème. L'exposition à la lecture favoriserait donc principalement le développement de compétences impliquant les unités phonémiques.

Les résultats de la présente étude suggèrent par ailleurs que les enfants francophones s'appuient grandement sur ces compétences métaphonologiques dans le premier stade de la lecture. De telles habiletés apparaissent plus importantes ou, à tout le moins plus directement impliquées, dans la lecture de mots d'orthographe régulière et de non-mots que dans la lecture de mots irréguliers. Ainsi, les non-mots, accessibles uniquement par décodage, sont bien lus à partir du moment où sont maîtrisées les correspondances graphème-phonème, soit dès la 3^e année. À l'opposé, la lecture de mots d'orthographe irrégulière demeure ardue jusqu'en 4^e année, alors que l'ensemble des habiletés métaphonologiques est acquis depuis plusieurs mois. L'importante augmentation constatée entre la 3^e et la 4^e année dans la performance moyenne à cette tâche (de 71% à 89%) suggère néanmoins que la maîtrise des

correspondances grapho-phonologiques récemment acquise favorise le développement des représentations orthographiques lexicales.

IMPACT DE L'ÉPILEPSIE

Il est aujourd'hui bien établi que toute pathologie cérébrale a un impact plus ou moins important sur le développement des processus cognitifs selon la nature, la sévérité et la localisation de la lésion. Sachant que de nombreuses études d'imagerie médicale ont permis de préciser les aires cérébrales impliquées dans le traitement phonologique en lecture, il est légitime de se demander si, malgré l'absence de site lésionnel identifié par l'imagerie, un dysfonctionnement cérébral pourrait affecter le développement ou l'efficacité de ces processus phonologiques.

Étant donné que les plus importantes augmentations du niveau d'activation cérébrale ont été retrouvées principalement au niveau des lobes temporal et frontal de l'hémisphère langagier, on peut penser qu'un dysfonctionnement affectant spécifiquement l'un ou l'autre de ces lobes pourrait entraver le développement des processus phonologiques. Une première étude de cas unique avait pour objectif de vérifier la plausibilité de cette hypothèse. Une dernière étude comparant trois groupes d'enfants souffrant de formes d'épilepsie différentes à des groupes d'enfants contrôles a par la suite été entreprise.

Principaux résultats obtenus

Impact de l'épilepsie temporale : Une étude portant sur des jumelles identiques.

Dans cette étude, les tâches de métaphonologie et de lecture utilisées auprès des enfants normaux ont été administrées à deux jumelles identiques âgées de 13 ans, ainsi qu'à 10 participants contrôles du même âge, afin d'évaluer les conséquences possibles d'un dysfonctionnement cérébral épileptique d'origine temporale sur le développement des processus phonologiques de la lecture. Des stimuli de structure syllabique plus complexe (et donc plus difficiles à manipuler) ont cependant également été inclus dans la plupart des tâches métaphonologiques compte tenu de l'âge des participants et du niveau d'intelligence supérieur des jumelles.

Bien que les jeunes filles présentent toutes deux un niveau de fonctionnement intellectuel global et des aptitudes langagières au-dessus de la moyenne, une analyse comparative de leurs résultats révèle un écart important au niveau de leur compétence en lecture. L.B., la jeune fille atteinte d'épilepsie, offre en effet un niveau de lecture la situant plus de deux ans en deçà de son âge chronologique, contrairement à sa jumelle identique qui elle, démontre des capacités de lecture supérieures à son âge. Qui plus est, outre une lecture souvent hachée et saccadée reflétant une maîtrise insuffisante des habiletés de lecture, le débit de lecture de L.B. est particulièrement lent pour son âge, suggérant l'utilisation d'une stratégie sub-vocale de décodage encore insuffisamment fonctionnelle.

L.B. présente de plus des déficits phonologiques subtils, ainsi que le révèle la comparaison de ses performances avec celles des participants contrôles (incluant sa sœur jumelle). En effet, la plupart de ses performances aux épreuves de conscience phonologique moins élaborées, impliquant surtout une sensibilité implicite à la phonologie et se développant avant l'exposition à la lecture, sont comparables à celles des enfants normaux. Par contre, les tâches métaphonologiques plus complexes sont moins bien réussies par la jeune fille.

Il est probable que les difficultés métaphonologiques de L.B. aient été plus importantes au moment de l'acquisition de la lecture, mais elle semble avoir été en mesure de les compenser relativement efficacement grâce à la lecture justement, ce qui paraît d'autant plus vraisemblable compte tenu de son bon potentiel intellectuel. L'ensemble des variables socio-démographiques pouvant influencer l'acquisition de la lecture (ex : attitudes parentales, facteurs liés à l'école, etc.) ayant été en grande partie contrôlé grâce à la comparaison de ses performances avec celles de sa sœur jumelle, la présence de difficultés phonologiques observées chez L.B. paraît compatible avec la présence d'une dysfonction cérébrale temporale chez cette jeune fille.

Une recension des écrits indique que les dysfonctionnements cérébraux de nature épileptique sont fréquemment associés à une atteinte primaire des mécanismes attentionnels (Lippé et Lassonde, 2004; Hernandez et al., 2003). Cependant, à la lumière des résultats de la présente étude, il semblerait que les processus de lecture

soient tout aussi fragiles et sensibles à un tel dysfonctionnement cérébral. Mais, toute forme d'épilepsie entraîne-t-elle de tels déficits au niveau du traitement phonologique de la lecture ?

Différentes formes d'épilepsie : une étude de groupe.

Afin d'approfondir l'étude de l'impact d'un dysfonctionnement cérébral de nature épileptique au niveau de la métaphonologie et de la lecture, une troisième et dernière étude de groupe a été entreprise auprès d'enfants présentant différentes formes d'épilepsie. Dans cette étude, les tâches de métaphonologie et de lecture ont été administrées à deux cohortes de 30 enfants, âgés entre 7 et 12 ans, l'une formée d'enfants souffrant d'épilepsie, l'autre d'enfants se développant normalement, sans problèmes neurologiques identifiés, appariés à la fois selon l'âge et le niveau scolaire. Trois sous-groupes de 10 enfants ont par la suite été formés selon le type d'épilepsie : deux sous-groupes présentant une épilepsie focale, d'origine soit temporale soit frontale, et un sous-groupe d'enfants avec épilepsie généralisée de type petit mal – absence. Les performances de ces sous-groupes ont été comparées à celles de trois sous-groupes de 10 enfants contrôles, appariés en termes d'âge et de niveau scolaire.

Dans un premier temps, diverses analyses ont été effectuées afin de s'assurer de l'homogénéité de ces trois sous-groupes expérimentaux. Celles-ci ne révèlent aucune différence statistique sur le plan du potentiel intellectuel verbal tel que mesuré par l'ÉVIP, pas plus qu'au niveau du vocabulaire expressif (DEN 48). Les enfants avec épilepsie frontale offrent par contre une performance sous la moyenne à une

tâche d'empan de chiffres, contrairement à leurs pairs présentant une autre forme d'épilepsie qui eux, obtiennent des performances tout à fait adéquates par rapport à leur âge.

En outre, puisque certaines composantes inhérentes à l'épilepsie influencent le fonctionnement cognitif et scolaire, des analyses supplémentaires ont été réalisées. Ainsi, les trois sous-groupes d'enfants avec épilepsie se sont avérés comparables tant au niveau de l'âge d'apparition des crises, du nombre de mois écoulé depuis le diagnostic d'épilepsie, que sur le plan de la fréquence des crises au cours de la dernière année. De même, aucune différence statistique n'est apparue entre le nombre d'enfants sous monothérapie et ceux sous polythérapie, ce qui peut nous permettre de croire qu'en tant que telle, la médication antiépileptique n'a que peu ou prou d'effets significatifs sur l'apprentissage de la lecture.

Développement métaphonologique

Les résultats de la présente étude n'ont révélé aucune différence significative entre les sous-groupes d'enfants avec épilepsie et leurs contrôles au niveau des tâches de répétition de non-mots, jugement et production de rime ou au niveau des tâches de fusion ou de segmentation syllabique. Par contre, la plupart des tâches impliquant des manipulations phonémiques, se sont avérées laborieuses pour les enfants atteints d'épilepsie frontale. Leurs performances apparaissent en effet significativement plus faibles que celles de leurs contrôles aux épreuves de fusion et d'inversion phonémique. De même, l'épreuve d'inversion syllabique, considérée comme une des

tâches métaphonologique les plus élaborées parmi celles administrées (avec celle d'inversion phonémique), est difficilement réussie, à la fois par les enfants souffrant d'épilepsie frontale et par ceux présentant des absences. Ces derniers obtiennent également un résultat moyen plus faible à la tâche de segmentation phonémique. Par contre, de façon surprenante, les enfants atteints d'épilepsie temporale offrent des performances en tous points comparables à celles de leurs contrôles à l'ensemble des tâches métaphonologiques.

En somme, les habiletés métaphonologiques plus élaborées (ex: tâches d'inversion) ou se développant plus tardivement (manipulations phonémiques) semblent plus sensibles à la présence d'un dysfonctionnement cérébral, particulièrement lorsque celui-ci est d'origine frontale et, dans une moindre mesure, lorsqu'il implique tout le cortex. En contrepartie, l'épilepsie d'origine temporale ne semble pas produire de déficits métaphonologiques particuliers.

Développement du système de lecture

Il importe dans un premier temps de souligner que, tel que noté dans la littérature, l'ensemble des enfants avec épilepsie inclus dans la présente étude éprouve des difficultés en lecture. Une première analyse statistique opposant enfants avec épilepsie (tous types d'épilepsie confondus) et enfants sans trouble neurologique identifié révèle effectivement des lacunes significatives dans toutes les tâches de lecture de mots isolés (réguliers, irréguliers et non-mots) chez les enfants souffrant d'épilepsie. L'administration subséquente d'une épreuve de lecture standardisée

confirme par ailleurs l'importance du retard de lecture de ces enfants: les trois sous-groupes d'enfants avec épilepsie présentent en effet un retard moyen d'environ deux ans par rapport à l'âge chronologique.

Les analyses statistiques opposant les sous-groupes d'enfants avec épilepsie à leurs contrôles montrent, étonnamment ici encore, que les enfants avec épilepsie temporale obtiennent des résultats comparables à ceux de leurs contrôles dans toutes les tâches de lecture de mots isolés. Tel qu'attendu par contre, les enfants souffrant d'épilepsie frontale éprouvent des difficultés importantes à la fois en lecture de mots irréguliers et de non-mots par rapport à leurs contrôles. Ils offrent entre autres une performance moyenne d'à peine de 66% à l'épreuve de lecture de non-mots, alors que le taux de réussite moyen se situe au-dessus de 80 % pour tous les autres sous-groupes (épileptiques et contrôles). Même la lecture de non-mots courts (2 et 3 syllabes) apparaît laborieuse pour ces enfants avec épilepsie frontale; ils sont en effet les seuls à obtenir un plus faible résultat que leurs contrôles à ces non-mots. De même, les mots d'orthographe irrégulière leur posent de réelles difficultés : ils y commettent en effet plus de 40% d'erreurs (versus 15-24%).

Les enfants souffrant d'absences offrent quant à eux des résultats comparables à ceux de leurs contrôles, notamment en lecture de mots irréguliers et en lecture de non-mots. Une différence statistique émerge néanmoins en lecture de mots réguliers. Il importe toutefois de souligner que la performance moyenne la plus élevée à cette tâche de lecture de mots réguliers est celle obtenue par les enfants avec

absences, une performance qui, de prime abord, semblerait diminuer l'impact potentiel d'un tel déficit en lecture.

DISCUSSION GÉNÉRALE

Les conclusions d'études menées auprès de populations cliniques d'individus présentant des troubles spécifiques de lecture, acquis ou de nature développementale, suggèrent qu'un déficit du traitement phonologique constitue l'un des principaux - sinon le principal - facteurs responsables de la dyslexie (Hulme & Snowling, 1992; Wagner & Torgesen, 1987). Compte tenu de l'importance de la procédure de transcodage phonologique en lecture et à la lumière des données neuro-radiologiques démontrant une implication des aires cérébrales frontales et temporales dans le traitement phonologique, il était légitime de postuler que l'épilepsie focale d'origine temporale ou frontale puisse engendrer des déficits significatifs dans l'acquisition de cette habileté.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus dans la présente étude appuient cette hypothèse. Les enfants souffrant d'épilepsie d'origine frontale éprouvent en effet d'importantes difficultés en lecture de non-mots, stimuli dont la lecture implique inévitablement la procédure phonologique. Outre ce déficit, ces enfants présentent aussi des faiblesses significatives lorsqu'il leur faut manipuler les unités sonores du langage tels que les syllabes et les phonèmes, ce qui entrave le développement et la maîtrise des règles grapho-phonologiques impliquées dans la lecture phonologique

(Brady & Shankweiler, 1991). Celles-ci sont notamment mises en évidence dans les tâches métaphonologiques requérant des manipulations plus élaborées (ex: épreuves d'inversion) ou impliquant la conscience phonémique, une conscience qui se développe principalement après l'exposition à la lecture. De façon surprenante en revanche, aucune différence statistique n'est observée entre les enfants avec épilepsie temporale et leurs contrôles aux tâches de lecture de mots isolés, pas plus qu'aux tâches de métaphonologie. La présence d'une épilepsie d'origine frontale semble donc entraver significativement le développement de la compétence métaphonologique, ce qui affecterait en retour l'efficacité du traitement phonologique de la lecture. À l'inverse, le traitement phonologique semble peu affecté par un dysfonctionnement épileptique d'origine temporale.

Les enfants avec épilepsie frontale ne présentent toutefois pas que des lacunes en lecture de non-mots, ils peinent aussi à lire des mots d'orthographe irrégulière, ce qui n'est pas le cas des groupes d'enfants souffrant d'un autre type d'épilepsie. Un dysfonctionnement épileptique impliquant les aires frontales ne semble donc pas affecter uniquement le développement de la stratégie phonologique, mais également celui de la stratégie de lecture lexicale. Bien qu'à priori surprenante, cette observation paraît toutefois compatible avec une hypothèse élaborée par Perfetti (1992) stipulant que, bien que fonctionnellement distinctes, ces deux stratégies se développent de façon interactive. Ainsi, le déficit de ces enfants en lecture de mots irréguliers serait principalement le reflet d'un traitement phonologique déficient. En effet, selon Perfetti (1992), c'est l'automatisation des règles de correspondances régulières qui

permet à l'enfant d'apprendre les correspondances irrégulières. Si l'enfant ne parvient pas à automatiser les règles de correspondance régulières, il présentera des difficultés majeures dans la lecture des mots irréguliers.

L'épilepsie d'origine frontale est par contre aussi fréquemment associée à une fragilité des mécanismes attentionnels et à une limite de la mémoire de travail auditivo-verbale (Hernandez *et al.*, 2003), autant de déficits qui pourraient exacerber les difficultés phonologiques de ces enfants. D'ailleurs, en accord avec ces prédictions, seuls les enfants avec épilepsie frontale obtiennent de moins bons résultats que leurs contrôles à une tâche d'empan de chiffres, une tâche ciblant principalement l'attention et la mémoire de travail auditivo-verbale. Celle-ci comprend toutefois deux volets: un premier, reflétant surtout la capacité d'attention auditive, dans lequel les enfants doivent répéter une série de chiffres préalablement entendue et un second, où il leur faut évoquer, à rebours cette fois, des séries de chiffres. Outre l'attention auditive, ce second volet implique une manipulation mentale qui n'est rendue possible que grâce à la mémoire de travail auditivo-verbale. Puisque les enfants avec épilepsie frontale ne diffèrent pas de leurs contrôles dans une épreuve de répétition de non-mots qui, tout comme l'empan direct implique un stockage temporaire de l'information phonologique, leur faible performance à l'épreuve d'empan de chiffres à rebours ne semble pas tributaire d'une mémoire de travail globalement plus limitée. En effet, si les déficits n'apparaissent que dans les tâches qui impliquent d'effectuer un travail sur le matériel verbal mémorisé, telle que la tâche d'empan de chiffres à rebours, il semble que le déficit en mémoire verbale

touche davantage les procédures de manipulation de l'information plutôt que le stockage de l'information.

Étant donné que la plupart des épreuves de conscience phonologique impliquent une certaine manipulation mentale, cette limite de la mémoire de travail auditivo-verbale contribue possiblement aux faibles performances métaphonologiques des enfants avec épilepsie frontale. Des patrons d'activation frontale anormaux ayant été mis en évidence chez les individus dyslexiques lors du traitement phonologique de la lecture (Shaywitz *et al.*, 1998), il est en effet tout à fait plausible que l'épilepsie frontale interfère à la fois dans le développement de ce traitement phonologique et au niveau de la mémoire de travail auditivo-verbale, exacerbant dès lors des difficultés phonologiques déjà présentes. Brown & Hulme (1996) soulignent d'ailleurs le rôle important de la mémoire de travail auditivo-verbale dans l'acquisition des représentations phonologiques en mémoire à long terme. En effet, l'acquisition de ces représentations implique les processus mnésiques (encodage, consolidation, récupération) et il est possible qu'une limite de la mémoire de travail auditivo-verbale nuise à l'encodage, affectant du même coup la qualité et la quantité des représentations phonologiques emmagasinées. Une mémoire de travail limitée pourrait par ailleurs entraver un - ou plusieurs - des processus phonologiques à l'œuvre dans les manipulations métaphonologiques, que ce soit au niveau du décodage des stimuli (perception), de leur encodage (planification phonologique) ou sur le plan de la production (déficit articulatoire) (Gathercole *et al.*, 1994).

Dans l'ensemble donc, les résultats obtenus auprès des enfants souffrant d'épilepsie frontale sont compatibles avec les données provenant d'études d'imagerie cérébrale menées auprès d'individus dyslexiques ayant révélé une implication de la région frontale dans le traitement phonologique de la lecture. Mais qu'en est-il de l'épilepsie d'origine temporale ? Des anomalies d'activation étant également notées au niveau temporal, un dysfonctionnement cérébral affectant cette région ne devrait-il pas entraîner des déficits sur le plan phonologique, au même titre que l'épilepsie frontale ? Comment expliquer que les enfants avec épilepsie temporale inclus dans la présente étude ne présentent aucune difficulté particulière ni en métaphonologie, ni en lecture de mots isolés ? Une étude d'IRM fonctionnelle, récemment réalisée par Billingsley et ses collègues (2001) auprès d'adultes atteints d'épilepsie temporale, permet d'expliquer cette apparente contradiction. Leurs résultats ont en effet montré une augmentation significative de l'activation cérébrale au niveau de l'aire frontale gauche chez ces individus pendant le traitement phonologique de la lecture, une augmentation que les auteurs interprètent comme l'indice d'un mécanisme compensatoire à l'œuvre pour contrer un dysfonctionnement temporal. Il est donc possible que les enfants souffrant d'épilepsie temporale aient développé des stratégies de compensation permettant un traitement phonologique efficace, auxquelles les enfants avec épilepsie d'origine frontale ne pourraient avoir recours.

Les résultats de l'étude de cas menée auprès de jumelles identiques indiquent toutefois des limites à ces stratégies compensatoires pouvant exister chez les personnes avec épilepsie temporale. En effet, puisque les participants de cette

seconde étude étaient plus âgés que ceux de la cohorte de l'étude de groupe, des stimuli de structure complexe avaient été inclus dans certaines des tâches de conscience phonologique. Or, les principales difficultés métaphonologiques présentées par L.B, la jumelle souffrant d'épilepsie temporale, se retrouvent justement à ces épreuves comportant des stimuli plus complexes. L'adolescente fait donc preuve de compétences métaphonologiques certaines permettant un traitement phonologique globalement efficace, à l'image des participants inclus dans l'étude de Billingsley et ses collaborateurs (2001), mais elle éprouve malgré tout des difficultés significatives par rapport à ses pairs lorsque les manipulations sont d'une complexité plus grande.

Il importe enfin de souligner l'existence de légers déficits métaphonologiques chez les enfants souffrant d'absences. Associés à une performance significativement moins élevée en lecture de mots réguliers, l'objectivation de telles faiblesses plaide en faveur d'une atteinte du système de lecture chez ces enfants, dont la nature demeure cependant encore à préciser. En effet, l'absence de différence statistique en lecture de non-mots entre les enfants souffrant d'absences et leurs contrôles ne permet pas de conclure qu'un déficit dans le traitement phonologique puisse être le principal responsable de l'ensemble des difficultés rencontrées en lecture par ces enfants. Puisqu'elle implique d'emblée tout le cortex (contrairement aux épilepsies partielles), il est par contre possible que la survenue d'absences entrave le fonctionnement des aires associatives en développement (incluant les lobes frontaux), nuisant ainsi à l'acquisition du système de lecture de façon plus globale.

Utilisant une technique de vidéo-électroencéphalographie continue, Poblano et ses collaborateurs (2001) ont soumis des enfants souffrant d'absences à une épreuve de lecture. Leurs résultats indiquent que bon nombre de leurs participants présentaient des absences de très courte durée - si courte en fait qu'ils n'en avaient pas conscience - auxquelles étaient néanmoins associées des altérations de lecture (ex: arrêts de lecture, substitutions phonémiques, etc.). La présence d'une activité épileptique généralisée (même si elle n'est associée à aucune manifestation clinique) pendant la lecture constitue donc un autre facteur pouvant exacerber le manque significatif d'efficience en lecture observé chez ces enfants. Certaines études ont en effet révélé que la présence de brèves décharges épileptiques infra-cliniques pouvaient, dans une certaine mesure, affecter les performances académiques d'enfants souffrant d'absences (Kasteleijn-Nolst Trenité, Siebelink, Berends, van Strien & Meinardi., 1990). Or, dans la présente étude, les enfants souffrant d'absences présentaient effectivement, pour la plupart (7 enfants sur 10), une activité épileptique généralisée à l'EEG en période inter-ictale. Il est par conséquent possible que celle-ci ait eu un impact sur leurs performances en métaphonologie et en lecture. Toutefois, selon Binnie et ses collaborateurs (1987), les tâches cognitives faciles ou celles considérées trop difficiles pour l'enfant seraient moins perturbées par la présence de décharges inter-ictales. Bien qu'il soit difficile de statuer sur cette question dans le cas présent, les tâches significativement moins bien réussies par les enfants avec absences (i.e. lecture de mots réguliers, segmentation phonémique et inversion syllabique) constituent peut-être de ces tâches cognitives ni trop faciles ni

trop difficiles particulièrement affectées par l'activité inter-ictale. Si cela s'avérait, alors la présence d'une épilepsie généralisée de type petit mal – absence associée, comme cela est fréquemment le cas, à de l'activité inter-ictale pourrait avoir des conséquences plus importantes que généralement reconnu au niveau de la réussite académique de ces enfants. De plus amples recherches sont cependant souhaitables. Il serait par exemple fort intéressant de faire un enregistrement EEG pendant l'exécution de ces tâches de métaphonologie et de lecture afin de mieux documenter l'impact réel de ces décharges inter-ictales au niveau des performances en lecture chez ces enfants.

Par ailleurs, il est bien établi que les médicaments antiépileptiques (MAE) peuvent avoir des effets secondaires au niveau cognitif (Aldenkamp, 2001), ce qui pourrait contribuer à exacerber les difficultés en lecture rencontrées par les enfants avec épilepsie. Il est toutefois difficile de quantifier avec précision le réel retentissement cognitif des MAE dans la présente étude, puisque les participants recevaient différents agents anti-épileptiques, seul (monothérapie) ou en combinaison (polythérapie). Néanmoins, plusieurs études réalisées chez l'enfant comme chez l'adulte plaident en faveur d'une amélioration des fonctions cognitives avec la réduction du nombre de MAE (Drane & Meador., 2002). Ainsi, dans une tentative pour réduire au maximum cet impact cognitif, les enfants recevant plus de deux agents anti-épileptiques ont été exclus de la présente étude, tout comme l'ont été ceux traités avec du phénobarbital, un agent anti-épileptique reconnu pour induire des effets secondaires cognitifs (Gallassi *et al.*, 1992; Domizio *et al.*, 1993).

Plus de 50% (16/30) des enfants souffrant d'épilepsie inclus dans la présente étude étaient traités en monothérapie et parmi ceux-ci, près de 54% (9/16) recevaient de la carbamazépine ou du valproate, deux agents anti-épileptiques "traditionnels", bien connus et dont les effets secondaires ont été étudiés depuis longtemps. Les études expérimentales menées chez des volontaires sains et chez des individus (adultes et enfants) souffrant d'épilepsie, ont démontré l'absence d'effets comportementaux délétères et le caractère modeste des effets secondaires de ces deux MAE sur les fonctions cognitives (Bourgeois, 1991; Dreifuss, 1992; Mitchell, Zhou, Chavez & Guzman, 1993; Meador, 2001; Drane et al., 2002). Les difficultés cognitives décrites portent essentiellement sur la vitesse psycho-motrice mais aussi, quoiqu'à un moindre degré, sur l'attention et la mémoire. Les autres enfants sous monothérapie (7/16) étaient quant à eux traités à l'aide de nouvelles molécules introduites au cours de la dernière décennie (i.e. lamotrigine, clobazam, vigabatrin, topiramate). Bien que nettement moins étudiés que les MAE traditionnels, il est généralement reconnu qu'à l'exception du topiramate, ces nouveaux médicaments sont bien tolérés, qu'ils produisent peu d'effets secondaires au niveau du système nerveux central (SNC), tels ataxie, étourdissements, nausées, etc., et qu'ils induisent des effets cognitifs délétères relativement mineurs et comparables à ceux des MAE traditionnels (Brunbech & Sabers, 2002; Dodrill & al., 1999). Le topiramate (TPM) constituerait cependant un cas à part. En effet, contrairement à l'ensemble des MAE de la nouvelle génération, les individus recevant du Topiramate présentent fréquemment des déficits cognitifs spécifiques sur le plan des fonctions exécutives et

du langage (Lee *et al.*, 2003; Glauser, 1999; Dooley *et al.*, 1999), surtout si la médication est introduite rapidement. De tels effets secondaires prennent une importance toute particulière dans le cadre comme celle-ci, portant sur le langage écrit. Cependant, un seul des enfants inclus dans la présente étude était traité avec du TPM, qu'il recevait en combinaison avec du valproate. Bien que ce traitement ne soit sans doute pas sans conséquence pour cet enfant, le fait qu'il soit l'unique participant recevant ce médicament diminue indéniablement l'impact cognitif potentiel de cet MAE sur les difficultés de lecture démontrées par les enfants avec épilepsie frontale. De plus, une étude approfondie de ses performances individuelles ne révèle aucune difficulté particulière aux diverses épreuves de langage et cet enfant offre des performances tout à fait comparables à celles de ses pairs en métaphonologie et en lecture. Au total, bien qu'on ne puisse pas exclure complètement la possibilité que les MAE jouent un rôle dans la genèse des difficultés de lecture chez ces enfants, l'ensemble de ces données permet de présumer que ce rôle n'est pas prépondérant.

La petite taille des échantillons d'enfants souffrant d'épilepsie constitue également un facteur dont il importe de tenir compte dans l'interprétation des présents résultats. En effet, le nombre restreint d'enfants à l'intérieur de chaque groupe ($n = 10$) limite l'interprétation du point de vue statistique et rend plus difficile l'objectivation de déficits phonologiques plus subtils. Ce choix était cependant volontaire afin que la composition des différents sous-groupes d'enfants souffrant d'épilepsie soit le plus homogène possible. Afin d'être inclus dans la présente étude,

les candidats potentiels devaient répondre à de nombreux critères de sélection, élaborés dans le but d'inclure strictement les enfants dont le diagnostic d'épilepsie ne laissait planer aucun doute et qui se développaient normalement par ailleurs. Or, un plus grand nombre d'enfants à l'intérieur de chaque groupe aurait peut-être permis de mettre en évidence la présence de plus amples déficits au niveau du traitement phonologique de la lecture.

Perspectives de recherche futures

Lors de l'élaboration du présent protocole de recherche, il avait été envisagé d'utiliser les méthodes d'imagerie fonctionnelle, telles la TEP ou l'IRMf, afin d'étudier et de comparer les patrons d'activation cérébrale lors de la lecture. Toutefois, la population étudiée étant une population pédiatrique, il est rapidement devenu évident que de telles techniques seraient difficiles à intégrer en raison de considérations éthiques. Il est cependant incontestable que ces méthodes d'imagerie, tout comme les techniques d'enregistrement neurophysiologiques, occupent une place importante dans la recherche – et éventuellement, dans l'investigation clinique – en dyslexie chez l'enfant, épileptique ou non.

Il est hors de notre propos de faire une revue extensive des techniques utilisées en recherche sur la dyslexie compte tenu de l'abondance de la littérature sur ce sujet. Mentionnons toutefois, de façon très schématique, que les techniques d'enregistrement neurophysiologiques (ex : potentiels évoqués, magnéto-

électroencéphalographie) et l'imagerie fonctionnelle par résonance magnétique ou par imagerie optique, offrent de grandes possibilités sur le plan du diagnostic et de l'exploration de la physiopathologie et de l'anatomie fonctionnelle des troubles de lecture. Il a en effet été démontré que les potentiels évoqués liés à l'événement (« Event Related Potentials » ou ERP) montraient des réponses différentes chez les enfants dyslexiques par rapport aux enfants contrôles (McPherson, Ackerman, Holcomb & Dykman, 1998; Bonte & Biomert, 2004). De telles différences ont été observées au niveau de l'amplitude et de la distribution des potentiels enregistrés dans des tâches de lecture impliquant un traitement phonologique. Les résultats de certaines études ERP suggèrent même que ces différences sont présentes très tôt chez le jeune enfant, bien avant l'acquisition de la capacité de lecture, et qu'elles pourraient être utilisées pour prédire l'émergence ultérieure d'un trouble dyslexique chez des enfants considérés à risque (Guttorm, Leppanen, Poikkeus, Eklund, Lyytinen & Lyytinen, 2005). Facile à réaliser et non-invasif (Naatanen, 2003), cette méthode pourrait éventuellement constituer un outil diagnostique complémentaire aux évaluations orthophoniques et neuropsychologiques des enfants présentant des troubles de lecture. Les potentiels évoqués sont notamment particulièrement utiles pour évaluer la chronologie et la distribution spatiale de la réponse après un stimulus donné. Ils ne permettent toutefois pas d'identifier les structures anatomiques impliquées dans la genèse de cette réponse, une question d'actualité dans la présente étude impliquant des dysfonctions cérébrales.

En ce sens, il est clair que l'IRM fonctionnelle représente un outil remarquable pour permettre l'étude des processus de lecture chez l'individu normal et dyslexique. Cette approche requiert malheureusement un équipement sophistiqué et coûteux et elle n'est pas facile à réaliser, surtout auprès de jeunes enfants qui ne collaborent pas toujours. Elle offre par contre la possibilité d'explorer *in vivo* les structures anatomiques impliquées dans les processus de lecture. De même, la magnéto-électroencéphalographie (ou MEG) permet d'explorer la fonction cérébrale dans différentes conditions neurologiques et de localiser les sources d'activité neuronale. Celle-ci requiert aussi un équipement sophistiqué et coûteux, mais selon certains auteurs, la MEG offre l'intérêt d'étudier le profil spatio-temporel de l'activité neurophysiologique de façon plus adéquate encore que l'IRMf (Sarkari, Simos, Fletcher, Castillo, Breier & Papanicolaou, 2002). Cette dernière permet en effet de visualiser les structures anatomiques impliquées dans un processus comme celui de la lecture, mais ne permet cependant pas toujours de visualiser, dans le temps, la séquence d'activation de ces structures, ce qui est le cas pour la MEG. Il pourrait s'avérer fort intéressant – particulièrement à la lumière des résultats obtenus lors de la présente étude – d'utiliser ces méthodes d'imagerie fonctionnelles afin d'étudier et de comparer les différents patrons d'activation cérébrale pour les différentes composantes du langage écrit (orthographique, sémantique, phonologique) selon le type de dysfonction de l'organisation corticale (enfants TLE *vs* FLE *vs* ABS, dominant *vs* non-dominant). De telles études contribueraient certainement à fournir des éléments de réponses à certaines des questions soulevées ici, de même qu'elles pourraient éventuellement permettre d'évaluer l'efficacité de toute intervention à

visée préventive, puisqu'il est probable que des mécanismes de réorganisation fonctionnelle existent.

L'électrophysiologie à haute densité et l'imagerie optiques constituent finalement deux autres méthodes intéressantes qui pourraient permettre d'évaluer les capacités de lecture chez l'enfant, épileptique ou non. Des travaux de recherche utilisant ces approches sont actuellement en cours afin de déterminer la latéralisation du langage chez des enfants avec épilepsie. Bien que ne possédant pas la même résolution spatiale que l'IRMf ou que la MEG, l'équipement est nettement plus abordable et ces approches sont beaucoup plus faciles à utiliser avec l'enfant.

Conclusion

En conclusion, les résultats de la présente recherche confirment les données de la littérature à l'effet d'une incidence élevée de difficultés de lecture chez les enfants souffrant d'épilepsie. L'épilepsie focale d'origine frontale est associée à des déficits plus importants au niveau du traitement phonologique, tandis qu'à l'inverse, l'épilepsie temporale semble avoir peu d'impact à ce niveau, possiblement en raison d'une réorganisation fonctionnelle de la représentation du langage impliquant les lobes frontaux.

Bien que les enfants souffrant d'épilepsie n'aient pas tous présenté de déficits spécifiques en lecture de mots isolés, ils démontrent tous un manque significatif

d'efficience en lecture et ce, peu importe le type d'épilepsie. Qu'il s'agisse d'une atteinte spécifique ou plus globale du système de lecture, le retard de lecture qui en découle ne peut qu'avoir un impact certain sur le rendement scolaire des enfants épileptiques, notamment en perturbant le processus de compréhension de textes écrits et en détournant les ressources cognitives disponibles. Ceci ne peut que renforcer l'importance d'un diagnostic précoce des problèmes de lecture chez les enfants avec épilepsie, d'autant plus qu'il existe des programmes efficaces d'entraînement à la conscience phonologique, c'est-à-dire qui soutiennent et favorisent le développement du système de lecture (Béland, Courcy, & St-Pierre, 2005), et auxquels ces enfants pourraient participer.

Chez les enfants avec épilepsie frontale, ces difficultés phonologiques en lecture s'accompagnent d'une limite significative de la mémoire de travail auditivo-verbale, ce qui suggère qu'une dysfonction cérébrale frontale provoque des atteintes ne se limitant pas qu'au traitement phonologique. À la lumière de ces données, il paraît légitime de se demander si les enfants sans trouble neurologique identifié mais présentant un trouble spécifique d'acquisition de la lecture (dyslexie développementale) n'éprouvent pas, eux aussi, des difficultés de nature exécutive. Les différents degrés d'atteinte fonctionnelle observés chez les enfants dyslexiques pourraient peut-être même carrément refléter le rôle compensatoire plus ou moins efficace des aires frontales chez ces enfants selon la sévérité de la dyslexie. Il serait par conséquent important d'intégrer des épreuves visant à évaluer le fonctionnement exécutif à l'évaluation neuropsychologique de base de la dyslexie développementale,

d'autant plus que bon nombre des enfants dyslexiques présentent effectivement une limite de la mémoire de travail auditivo-verbale, compatible avec l'hypothèse d'un tel dysfonctionnement frontal.

Les résultats du présent travail de recherche ont à notre avis une portée importante puisqu'ils contribuent à une meilleure compréhension de la nature des difficultés en lecture, soulignent l'importance d'un dépistage précoce et permettent de dégager des pistes d'interventions préventives qui devraient favoriser le développement du système de lecture chez les enfants souffrant d'épilepsie, particulièrement lorsque celle-ci est d'origine frontale. Un dépistage et une intervention rapide paraissent d'autant plus importants que ces enfants présentent souvent, comme c'est le cas ici, un niveau de fonctionnement intellectuel normal, un facteur qui pourrait se révéler faussement rassurant quant au futur succès académique des enfants avec épilepsie.

RÉFÉRENCES

- Aldenkamp, A.P., Alpherts, W.C.J., Dekker, M.J.A. & Overweg, J. (1990). Neuropsychological aspects of learning disabilities in epilepsy. *Epilepsia*, 31 (Suppl.4):S9-S20.
- Austin J.K., Huberty T.J., Huster, G.A. & Dunn D.W. (1999). Does academic achievement in children with epilepsy change over time? *Dev Med Child Neurol.*, 41(7):473-9.
- Beaton, A.A. (1997). The relation of planum temporale asymmetry and morphology of the corpus callosum to handedness, gender, and dyslexia : A review of the evidence. *Brain and Language*, 60:255-322.
- Béland R., Courcy, A. & St-Pierre, M.C. (2005). *Métafo*.
<http://www.edupformance.com/Training/outlines/fichemetafo/>
- Billingsley, R.L., McAndrews, M.P., Crawley, A.P., Mikulis, D.J. (2001). Functional MRI of phonological and semantic processing in temporal lobe epilepsy. *Brain*, 124(6):1218-1227.
- Binder, J.R., Swanson, S.J., Hammeke, T.A., Morris, G.L., Mueller, W.M., Fischer, M & al. (1996). Determination of language dominance using functional MRI: A comparison with the Wada test. *Neurology*, 46:978-984.
- Binnie, C.D., Kasteleijn-Nolst Trinit, D.G.A., Smit, A.M. & Wilkins, A.J. (1987). Interactions of epileptiform discharges and cognition. *Epilepsy Research*, 1: 239-245.
- Blachman, B.A. (1984). Relationships of rapid naming ability and language analysis skills to kindergarten and first-grade reading achievement. *Journal of Educational Psychology*, 76(4):610-622.
- Black, K.C., & Hynd, G.W. (1995). Epilepsy in the school aged child : Cognitive-behavioral characteristics and effects on academic performance. *School Psychology Quarterly*, 10(4):345-358.
- Blom, S., Heijbel, J., & Bergfors, P.G. (1978). Incidence of epilepsy in children. *Epilepsia*, 19:343-350.
- Bolter, J.F. (1986). Epilepsy in Children: Neuropsychological effects. In: J.B. Obrzut & G.W. Hynd (eds), *Child Neuropsychology: vol. 2, Clinical Practice* (pp.59-81). New York: Academic Press.
- Bonte, M.L. & Biomert, L. (2004). Developmental dyslexia:ERP correlates of anomalous phonological processing during spoken word recognition. *Brain Research and Cognitive Brain Research*, 21(3):360-376.

- Bookheimer, S.Y., Zeffiro, T.A., Blaxton, T., Gaillard, W., Theodore, W. (1995). Regional blood flow during object naming and word reading. *Human Brain Mapping*, 3:93-106.
- Bourgeois B.L. (1991). Relationship between anticonvulsant drugs and learning disabilities. *Seminars in Neurology*, 11:14-19.
- Bradley, L., Bryant, P.E. (1983). Categorizing sounds and learning to read : A causal connection. *Nature*, 30:319-421.
- Brady, S., & Shankweiler, D. (1991). *Phonological processes in literacy: A tribute to Isabelle Y. Liberman*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Brown, G.D.A. & Hulme, C. (1996). Nonword repetition, STM, and word age-of-acquisition: A computational model. In: S.E. Gathercole (Ed), *Models of Short-term Memory* (pp.129-148). Bristol, UK: Erlbaum.
- Bruck, M., Genesee, F. & Caravolas, M. (1997). A cross-linguistic study literacy acquisition. In: Blachman, B.A. (Ed). *Foundations of reading acquisition and dyslexia* (pp145-162). Mahwah, NJ:Lawrence Erlbaum.
- Brunbech, L. & Sabers, A. (2002). Effect of antiepileptic drugs on cognitive function in individuals with epilepsy: A comparative review of newer versus older agents. *Drugs*, 62(4):593-604.
- Brunswick, N., McCrory, E., Price, C.J., Frith, C.D., Frith, U. (1999). Explicit and implicit processing of words and pseudowords by adults developmental dyslexics. A search for Wernicke's Wortschatz ? *Brain*, 122(10):1901-26.
- Bryant, P.E., MacLean, M., Bradley, L. & Crossland, J. (1990). Rhyme and alliteration, phoneme detection and learning to read. *Developmental Psychology*, 26(3):429-438.
- Carlisle J.F., (1990). Response to Siegel. *Journal of Learning Disabilities*, 23(5):267-9, 319.
- Castles, A. & Coltheart, M. (1993). Varieties of developmental dyslexia. *Cognition*, 47(2):149-80.
- Cataldo, S. & Ellis, N. (1990). Interactions in the development of spelling, reading and phonological skills. *Journal of Research in Writing*, 11(2):86-109.
- Crowder, R.G., & Wagner, R.K. (1991). *The psychology of reading : An introduction* (2nd ed. rev.). New York : Oxford University Press.

- Courcy, A, Béland, R. & Pitchford, N. (2000). Phonological awareness in French-speaking children at risk for reading disabilities. *Brain and Cognition*, 43(1-3):124-130.
- Dalby, M.A., Elbro, C., & Stokide-Jorgensen, H. (1998). Temporal lobe asymmetry and dyslexia: an in vivo study using MRI. *Brain and Language*, 62(1):51-69
- Dam, M. (1990). Children with epilepsy: The effects of seizures, syndromes and etiological factors on cognitive functioning. *Epilepsia*, 31(S4): S26-S29.
- Déjerine, J. (1891). *C.R. Société de biologie*, 43:197-201.
- Demonet, J.F., Chollet, F., Ramsay, S., Cardebat, D., Nespoulos, J.L. Wise, R., Rascol, A. & Frackowiak, R.S. (1992). Anatomy of phonological and semantic processing in normal subjects. *Brain*, 115(6):1753-68.
- Demonet, J.F., Price, C., Wise, R., Frackowiak, R.S. (1994). Differential activation of right and left posterior sylvian regions by semantic and phonological tasks: A positron-emission tomography study in normal human subjects. *Neuroscience Letters*, 182(1):25-8.
- Dodrill, C.B., Arnett, J.L., Hayes, A.G., Garofalo, E.A., Greeley, C.A., Greiner, M.J. & Pierce, M.W. (1999). Cognitive abilities and adjustment with gabapentin: Results of a multisite study. *Epilepsy Research*, 35(2):109-21.
- Domizio S., Verrotti A., Ramenghi L.A., Sabatino G., Morgese G. (1993). Anti-epileptic therapy and behavior disturbances in children. *Childs Nervous System*, 9:272-274.
- Dooley, J.M., Camfield, P.R., Smith, E., Langevin, P. & Ronen, G. (1999). Topiramate in intractable childhood onset epilepsy: A cautionary note. *Canadian Journal of Neurological Science*, 26:271-273.
- Drane, D.L. & Meador, K.J. (2002). Cognitive toxicity of antiepileptic drugs (pp. 311-330). In: O. Devinsky & LE Westbrook (eds). *Epilepsy and developmental disorders*. Boston: Butterworth-Heinemann.
- Dreifuss F.E. (1992). Cognitive function-victim of disease or hostage to treatment? *Epilepsia*, 33 (suppl. 1):S7-S12.
- Duara, R., Kushch, A., Gross-Glenn, K., Barker, W.W., Jallad, B., Pascal, S., Loewenstein, D.A., Sheldon, J., Rabin, M., Levin, B. & al. (1991). Neuroanatomic Differences Between Dyslexic and Normal Readers on Magnetic Resonance Imaging Scans. *Annals of Neurology*, 48:410-416.

- Eckert, M. (2004). Neuroanatomical markers for dyslexia: A review of dyslexia structural imaging studies. *Neuroscientist*, 10(4):362-371.
- Ehri, L.C. (1992). Reconceptualizing the development of sight word reading and its relationship to recoding. In: P.B. Gough, L.C. Ehri & R. Treiman (Eds), *Reading Acquisition* (pp. 107-143). London: Lawrence Erlbaum.
- Eliez, S., Rumsey, J.M., Giedd, J.N., Schmitt, J.E., Patwardhan, A.H. & Reiss, A.L. (2000). Morphological alteration of temporal lobe gray matter in dyslexia : An MRI study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 41(5):637-744.
- Ellis, N. & Large, B. (1987). The development of reading: As you seek so shall you find. *British Journal of Psychology*, 78:1-28.
- Fowler, A.E. (1991). How early phonological development might set the stage for phoneme awareness. In: S.A. Brady & D.P. Shakweiler (eds.), *Phonological processes in literacy* (pp.97-117). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Frith, U. (1985). Beneath the surface of developmental dyslexia. In: K. Patterson, J. Marshall, & M. Coltheart (eds.), *Surface dyslexia : Neuropsychological and cognitive studies of phonological reading* (pp.301-330). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Galaburda, A.M., Shermann, G.F., Rosen, G.D., Aboitiz, F. & Geschwind, N. (1985). Developmental dyslexia: Four consecutive patients with cortical anomalies. *Annals of Neurology*, 18:222-233.
- Gallassi, R., Morreale, A., Di Sarro, R , Marra, M., Lugaesi, E. & Baruzzi, A. (1992). Cognitive effects of antiepileptic drug discontinuation. *Epilepsia* (Suppl 6):41-44.
- Gathercole, S.E., Willis, C.S., Baddeley, A.D. & Emslie, H. (1994). The children's test of nonword repetition: A test of phonological working memory. *Memory*, 2:103-127.
- Geschwind, N. & Levitsky, W. (1968). Human Brain: Left-right asymmetries in temporal speech region. *Science*, 161:186-187.
- Gillam, R.B. & van Kleeck, A. (1996). Phonological awareness training and short-term working memory: Clinical implications. *Topics Language Disorders*, 17(1):72-81.
- Glaser, G.H. (1979). The epilepsies. In: P.Beeson, W. McDermott, & J.B. Wyngaarden (Eds), *Cecil textbook of medecine* (pp. 851-862). Philadelphia: Saunders.
- Glauser, T.A. (1999) Topiramate. *Epilepsia*, 40 (Suppl 5):S71-S80.

- Goswami, U.C. & Bryant, P.E. (1990). *Phonological skills and learning to read*. Hove : Erlbaum.
- Gourley, R. (1990) Educational policies. *Epilepsia*, 31(Suppl 4):S59-60.
- Guttorm, T.K., Leppanen, P.H., Poikkeus, A.M., Eklund, K.M., Lyytinen, P. & Lyytinen, H. (2005). Brain event-related potentials (ERPs) measured at birth predict later language development in children with and without familial risk for dyslexia. *Cortex*, 41(3):291-303.
- Habib, M. (2000). The neurological basis of developmental dyslexia: An overview and working hypothesis. *Brain*, 123:2373-2399.
- Hauser, W.A. & Nelson, K.B. (1989). Epidemiology of epilepsy in children. *Cleveland Clinical Journal of Medicine*, 56 (Suppl., part.2), S185-S194.
- Hernandez, M.T., Sauerwein, H.C., Jambaque, I., de Guise, E., Lussier, F., Lortie, A., Dulac, O. & Lassonde, M. (2003). Attention, memory and behavioral adjustment in children with frontal lobe epilepsy. *Epilepsy and Behavior*, 4(5):522-36.
- Hoën, T., Lundberg, I., Stanovich, K.E. & Bjaalid, I.K. (1995). Components of phonological awareness. *Reading and Writing*, 7:171-188.
- Holdsworth, L., Whitmore, K. (1974). A study of children with epilepsy attending ordinary schools. *Developmental Medicine Child Neurology*, 16:445-457.
- Hulme, C & Snowling, M. (1992). Phonological deficits in dyslexia: a "sound" reappraisal of the verbal deficit hypothesis. In: N. Singh & I. Beale (eds), *Current perspectives in learning disabilities* (pp. 270-301). New York: Springer.
- Humphreys, P., Kaufman, W.E. & Galaburda, A.M. (1990). Developmental dyslexia in women: Neuropathological findings in three patients. *Annals of Neurology*, 28:727-738.
- Hynd, G.W., Semrud-Clikeman, M., Lorys, A.R., Novey, E.S. & Eliopoulos, D. (1990). Brain morphology in developmental dyslexia and attention deficit disorder/hyperactivity. *Archives of Neurology*, 47:919-926.
- Kasteleijn-Nolst Trenité, D.G.A., Siebelink, B.M., Berends, S.G.C., van Strien, S.W., & Meinardi, H. (1990). Lateralized effects of subclinical epileptiform EEG discharges on scholastic performance in children. *Epilepsia*, 31:740-746.

- Larsen, J.P., Hoein, T., Lundberg, I., Odegaard, H. (1990). MRI evaluation of the size and symmetry of the planum temporale in adolescents with developmental dyslexia. *Brain and Language*, 39:289-301.
- Lee, S., sziklas, V., andermann, A., Farnham, S., Risse, G., Gustafson, M., Gates, J., Penovich, P., Al-Asmi, A., Dubeau, . & Jones-Gotman, M. (2003). The effects of adjunctive Topiramate on cognitive function in patients with epilepsy. *Epilepsia*, 44(3):339-347.
- Leonard, C.M., Voeller, K.K., Lombardino, L.J., Morris, M.K., Hynd, G.W., Alexander, A.W. & al. (1993). Anomalous cerebral structure in dyslexia revealed with magnetic resonance imaging. *Archives of Neurology*, 50:461-469.
- Lieberman, I.Y., Shankweiler, D., Fisher, F.W. & Carter, B. (1974). Reading and awareness of linguistic segments. *Journal of Experimental Child Psychology*, 18:201-212.
- Lieberman I.Y. (1973). Segmentation of the spoken word and reading acquisition. *Bulletin of Orton Society*, 23:65-77.
- Lippe S., & Lassonde M. (2004). Profil neuropsychologie des épilepsies partielles réfractaires. *Revue Neurologique*, 160:144-53.
- Lundberg, I., Frost, J. & Peterson, O. (1988) Effects of an extensive program for stimulating phonological awareness in preschool children. *Reading Research Quarterly*, 23(3):264-284.
- McPherson, W.B., Ackerman, P.T., Holcomb, P.J. & Dykman, R.A. (1998). Event-related brain potentials elicited during phonological processing differentiate subgroups of reading disabled adolescents. *Brain and Language*, 62(2):163-185.
- Meador, K.J. (2001). Cognitive effects of epilepsy and of antiepileptic medications (pp. 1215-1225). In: Wyllie, E (ed). *The treatment of epilepsy: principles and practice*, 3rd ed. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Mitchell W.G., Zhou Y., Chavez J.M., Guzman B.L. (1993). Effects of antiepileptic drugs on reaction time, attention, and impulsivity in children. *Pen Pediatrics*, 9:101-105.
- Mitchell, W.G., Chavez, J.M., Lee, H., & Guzman, B.L. (1991). Academic underachievement in children with epilepsy. *Journal of Child Neurology*, 6:65-72.
- Monetti, V.C., Granieri, E., Casetta, I., Tola., M.R., Paolino, E., Malagu, S., Govoni, V. & Quatrala, R. (1995). *Risk factors for idiopathic generalized seizures : A population based case control study in Copparo, Italy*. *Epilepsia*, 36(3):224-229.

- Morais, J. (1994). *L'art de lire*. Paris: Éditions Odile Jacob.
- Morgan, A.E., & Hynd, G., W. (1998). Dyslexia, neurolinguistic ability, and anatomical variation of the planum temporale. *Neuropsychological Review*, 8(2):79-93.
- Muter, V., Hulme, C., Snowling, M. & Taylor, S. (1998). Segmentation, not rhyming, predicts early progress in learning to read. *Journal of Experimental Child Psychology*, 71:3-27.
- Naatanen, B. (2003). Mismatch negativity: Clinical research and possible applications. *International Journal of Psychophysiology*, 48(2):179-188.
- Paulesu, E., Frith, U., Snowling, M., Gallagher, A., Morton, J., Frackowiak, R.S. & al. (1996). Is developmental dyslexia a disconnection syndrome ? Evidence from PET scanning *Brain*, 119:143-157.
- Pellock J.M. (1993). Seizures and epilepsy in infancy and childhood. *Neurologic Clinics*, 11(4):755-75.
- Pennington, B.F., Cardoso-Martins, C., Green, P.A., Lefly, D.L. (2001). Comparing the phonological and double deficit hypotheses for developmental dyslexia. *Reading and Writing: An interdisciplinary Journal*, 14:707-755.
- Perfetti, C. (1992). The representation problem in reading acquisition. In: P.B. Gough, L.C. Ehri & T.R. Treiman (Eds), *Reading Acquisition* (pp.145-174). London: Lawrence Erlbaum.
- Perfetti, C., Beck, I., Bell, I., Hughes, C. (1987). Phonemic knowledge and learning to read are reciprocal : A longitudinal study of first-grade children. *Merill-Palmer Quarterly*, 33:282-319.
- Poblano, A., Ibarra, J., Muniz, A. & Garza, S. (2001). Absence seizures effects on reading revealed by video-electroencephalography. *Rev Invest Clin.*, 53(2):136-140.
- Porter R.J. (1986). Recognizing and classifying epileptic seizures and epileptic syndromes. *Neurologic Clinics*, 4(3):495-508.
- Price, C.J., Moore, C.J., Humphreys, G.W. & Wise, R.J.S. (1997). Segregating semantic from phonological processes during reading. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6:727-733.
- Price, C., Wise, R.K., Watson, J.D.G., Patterson, K., Howard, D. & Frackowiak, R.S.J. (1994). Brain activity during reading: The effects of exposure duration and task. *Brain*, 117:1255-1269.

- Pugh, K.R., Shaywitz, B.A., Shaywitz, S.E., Constable, R.T., Skudlarski, P., Fulbright, R.K. & al. (1996). Cerebral organization of component processes in reading. *Brain*, 119:1221-1238.
- Rumsey, J.M., Nace, K., Donohue, B., Wise, D., Maisog, J.M. & Andreason, P. (1997). A positron emission tomographic study of impaired word recognition and phonological processing in dyslexic men. *Archives of Neurology*, 54:562-573.
- Rumsey, J.M., Andreason, P., Zametkin, A.J., Aquino, T., King, A.C., Hamburger, S.D., & al. (1992). Failure to activate the left temporoparietal cortex in dyslexia. An oxygen 15 positron emission tomographic study. *Archives of Neurology*, 49:527-534.
- Rutter, M. Tizard, J. & Whitmore, K. (1970). *Education, Health and Behaviour*, 2nd edition. New York : Robert E. Krieger Publishing Company. 474 p.
- Sarkari, S., Simos, P.G., Fletcher, J.M., Castillo, E.M., Breier, J.I. & Papanicolaou, A.C. (2002). Contributions of magnetic source imaging to the understanding of dyslexia. *Seminars of Paediatric Neurology*, 9(3):229-238.
- Share, D.L. (1995). Phonological recoding and self-teaching: *sine qua non* of reading acquisition. *Cognition*, 55:151-128.
- Share, D.L. (1999). Phonological recoding and orthographic learning: A direct test of the self-teaching hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology*, 72:95-129.
- Schultz, R.T., Cho, N.K., Staib, L.H., Kier, L.E., Fletcher, J.M., Shaywitz, S.E., Shankweiler, D.P., Katz, L., Gore, J.C., Duncan, J.S., & al. (1994). Brain morphology in normal and dyslexic children: The influence of sex and age. *Annals of Neurology*, 35(6):732-42.
- Seidenberg, M. (1989). Academic achievement and school performance of children with epilepsy. In: B.P. Hermann, M. Seidenberg (Eds), *Childhood Epilepsies: Neuropsychological, Psychosocial and Intervention Aspects* (pp. 105-118). London: John Wiley & Sons.
- Seidenberg, M., Beck, N., Geisser, M., Giordani, B., Sackellaras, J.C., Berent, S., Dreifuss, F.E. & Boll, T.J. (1986). Academic achievement of children with epilepsy. *Epilepsia*, 27:753-759.
- Seymour, P.H.K. & MacGregor, C.J. (1984). Developmental dyslexia: A cognitive developmental analysis of phonological morphemic and visual impairments. *Cognitive Neuropsychology*, 1:43-82.

- Shapleske, J., Rossell, S.L., Woodruff, P.W., David, A.S. (1999). The planum temporale: A systematic, quantitative review of its structural, functional and clinical significance. *Brain Research Review*, 29:26-49.
- Shaywitz, B.A., Shaywitz, S.E., Pugh, K.R., Mencl, W.E., Fulbright, R.K., Skudlarski, P., Constable R.T., Marchione, K.E., Fletcher, J.M., Lyon, G.R. & Gore, J. C. (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biol Psychiatry*, 52(2):101-110.
- Shaywitz, S.E., Shaywitz, B.A., Pugh, K.R., Fulbright, R.K., Constable, R.T., Mencl, W.E., Shankweiler, D.P., Liberman, A.M., Skudlarski, P., Fletcher, J.M., Katz, L., Marchione, K.E., Lacadie, C., Gatenby, C., & Gore, J.C. (1998). Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 95:2636-2641.
- Shaywitz, S.E. (1996). Dyslexia. *Scientific American*, 275(5): 98-104.
- Stanovich, K.E. (1991). Changing models of reading and reading acquisition. In: L. Rieben & C.A. Perfetti (Eds.). *Learning to read : Basic research and its implications*, (pp.19-31). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Stores, G. & Hart, J.A. (1976). Reading skills in children with generalized or focal epilepsy attending ordinary school. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 18:705-716.

- Temple, E., Deutsch, G., K., Poldrack, R.A., Miller, S.L., Tallal, P., Merzenich, M.M. & Gabrieli, J.D.E. (2003). Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: Evidence from functional MRI. *Proc. Natl. Acad. Sci USA*, 100(5):2860-2869.
- Treiman, R. & Zukowski, A., (1991). Levels of phonological awareness. In: S.A. Brady & D.P. Shankweiler (Eds.). *Phonological processes in literacy : A tribute to Isabelle Y. Liberman*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Vanasse, C.M., Béland, R., Jambaqué, I., Lavoie, K., Lassonde, M. (2003). Impact of temporal lobe epilepsy on phonological processing and reading : A case study of identical twins. *Neurocase*, 9(6):515-522.
- Van Kleeck, Gillam & McFadden (1998). A study of classroom-based phonological awareness training for preschoolers with speech and/or language disorders. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 7:65-76.
- Verity, C.M., Ross, E.M. (1985). Longitudinal studies of children's epilepsy. In: E. Ross, E. Reynolds (eds.), *Paediatric perspectives on epilepsy* (pp.133-139). Chinchester: John Wiley & Sons Ltd.
- Wagner, R.K., Torgesen, J.K. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin*, 101:192-212.
- Williams, J., Sharp, G., Bates, S., Griebel, M., Lange, B., Spence, G.T. & Thomas, P. (1996). Academic achievement and behavioral ratings in children with absence and complex partial epilepsy. *Education and Treatment of Children*, 19(2):143-152.
- Yule, W. (1980). Educational achievement. In: B.M. Kulig, H. Meinardi, & G. Stores (Eds), *Epilepsy and Behaviour*, (pp.162-168). Lisse, NL: Swets & Zeitlinger.
- Zatorre, R.J., Evans, A.C., Meyer, E. & Gjedde, A. (1992). Lateralization of phonetic and pitch discrimination in speech processing. *Science*, 256:846-849.

APPENDICE A

Certificat d'acceptation du projet de recherche par le comité d'éthique

APPENDICE B

Lexique

Lexique¹

ATTAQUE – Consonne ou groupe consonantique qui précède la voyelle dans une syllabe.

CONSCIENCE PHONÉMIQUE – La conscience phonémique est la forme de conscience phonologique qui porte sur les phonèmes.

CONSCIENCE PHONOLOGIQUE (MÉTAPHONOLOGIE) – Toute forme de connaissance consciente, réflexive, explicite, sur les propriétés phonologiques du langage. Ces connaissances sont susceptibles d'être utilisées de manière intentionnelle.

CONSONNE – Élément constitutif de la chaîne parlée, produit en créant une obstruction au flux de l'air dans le conduit vocal. Les consonnes se distinguent entre elles par la manière et la place où cette obstruction est créée. La notion de consonne s'oppose à celle de voyelle.

CORRESPONDANCE GRAPHOPHONÉMIQUE – Les règles de correspondance graphème-phonème déterminent en grande partie la relation entre les formes écrites et parlées des mots dans le système alphabétique. Certaines règles sont simples, c'est-à-dire qu'elles associent phonème et graphème indépendamment de tout contexte. D'autres sont complexes, c'est-à-dire qu'elles prennent le contexte en considération. Par exemple, la prononciation de la lettre "g" dépend de la voyelle suivante.

CORRESPONDANCE PHONOGRAPHÉMIQUE – Système d'écriture où les caractères correspondent à des éléments constitutifs de la chaîne parlée. Les alphabets sont des systèmes d'écriture phonographémiques.

DÉCODAGE – Transformation d'un message encodé en vue de son utilisation.

DYSLEXIE DÉVELOPPEMENTALE – Trouble ou retard dans l'acquisition de la capacité de lecture, où on ne tient compte que des difficultés spécifiques, c'est-à-dire lorsque le développement cognitif général est normal.

GRAPHÈME – Unité contrastive minimale dans un système d'écriture. Dans le système alphabétique, le graphème correspond à la lettre. Si l'on tient compte de l'existence de conventions orthographiques différentes dans chaque langue qui utilise un alphabet, on peut formuler une notion plus abstraite de graphème pour les langues alphabétiques, qui consiste à le voir comme la contrepartie du phonème. Ainsi, le digraphe « ch » en français, correspond toujours à un seul phonème, et peut être considéré comme un graphème dans cette langue.

¹ tiré de Morais, J. (1994). *L'art de lire*. Paris: Éditions Odile Jacob.

LECTURE ORTHOGRAPHIQUE – Processus de lecture conduisant à la reconnaissance des mots écrits sur la base d'une catégorisation de leurs éléments constitutifs (ex : lettres). Ce type de lecture suppose la constitution d'un lexique mental orthographique, où des représentations de cette nature se trouveraient enregistrées.

LECTURE PHONOLOGIQUE – Processus de lecture conduisant à la reconnaissance des mots écrits, à une prononciation correcte des mots inconnus ou des non-mots, sur la base de la conversion des graphèmes, ou de structures infralexicales plus larges que le graphème, en phonèmes ou en unités phonologiques correspondant aux structures supra-graphémiques.

NON-MOT – Séquence de lettres ou de phonèmes qui, n'ayant pas de signification, ne constitue pas un mot, mais respecte les séquences habituelles de la langue et pourrait par conséquent devenir un mot si une signification particulière lui était attribuée.

PARALEXIE – Erreur de lecture présentant un type particulier de ressemblance avec le mot à lire ; ainsi, la paralexie sémantique et la paralexie phonologique présentent, respectivement, une ressemblance sémantique et phonologique avec la cible.

PHONÈME – Le plus petit élément constitutif de la chaîne parlée permettant des distinctions sémantiques. Par exemple, le mot « bal » peut être décrit comme résultant de la combinaison, dans l'ordre, de /b/, /a/ et /l/, car il peut être distingué, parmi d'autres mots, de « cal », « bol », et « bar », respectivement.

PHONOLOGIE – Étude de la structure abstraite des unités d'expression constitutives de la langue parlée et des règles qui gouvernent la combinaison des unités.

REPRÉSENTATION ORTHOGRAPHIQUE – Représentations individuelles de la forme visuelle des mots connus par une personne.

RIME – Partie terminale de la syllabe, qui regroupe le noyau vocalique et la coda, c'est-à-dire la consonne ou le groupe consonantique qui suivrait le noyau.

SYLLABE – Unité de la structure phonologique qui est constituée généralement d'un noyau vocalique, le plus souvent précédé ou suivi d'une ou plusieurs consonnes.

VOYELLE – Élément constitutif de la chaîne parlée, produit en laissant passer le flux d'air dans le conduit vocal non obstrué. Les différentes voyelles sont obtenues en faisant prendre au conduit vocal différentes formes et tailles.